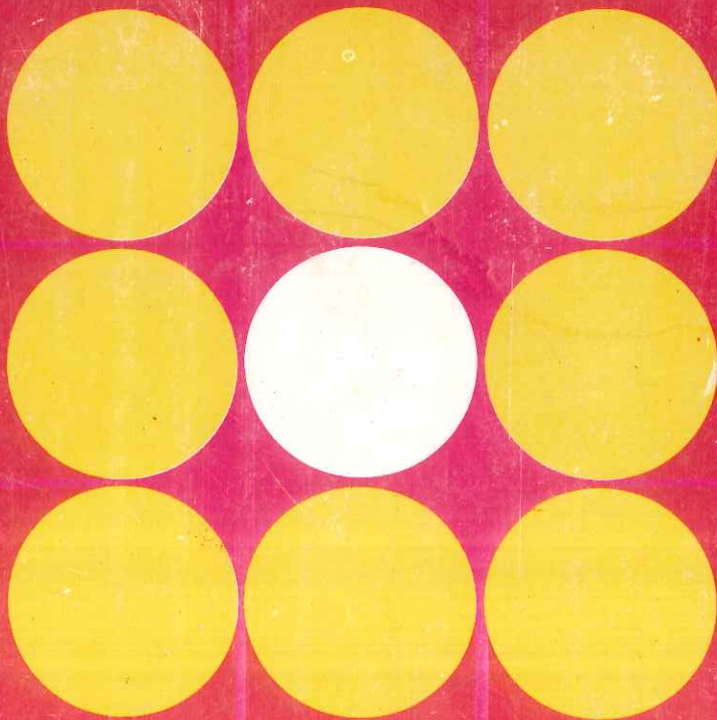


دارالعلم والادب العالي والذوالعالي
جامعة الموصل

آی. مکرزی سمیت و کی. پی. ہوزی

عام

الهندسة الكهربائية الأساسی



الدكتور ظفر أنور النعمية

و

الدكتور محمود زكي محمد خضير

ترجمة

الهندسة الكهربائية
الأساسی

ترجمة

الدكتور محمود زكي محمد خضير

الدكتور ظفر أنور النعمية



الهندسة الكهربائية
عبدالله محمد زكي محمد هادي

شركة
الهندسة الكهربائية

الالكتروني محمد زكي محمد هادي

الالكتروني محمد زكي محمد هادي



موجز عن الكتاب :

هذا الكتاب مناسب للاستخدام ككتاب رئيسي المقرر لطلبة الذين يدرسون الهندسة الكهربائية لبل شهادة O.N.C. في O.N.D. في انكلترا وويلز. كما يغطي هذا الكتاب مقررات دراسية ال O.N.C. و O.N.D. في الهندسة الكهربائية المعطاة من قبل المنظمة السكوتلندية للشهادات الوطنية والدبلومات SANCAD. ان الطلبة الذين يدرسون المقررات الكهربائية التقنية المتقدمة (مثلا شهادة HNC) سيجدون انجاه هذا الكتاب غير الرياضي مفيدا بشكل خاص كأساس لدراساتهم.

ان هذا الكتاب هو اول محاولة من نوعها لغطية مبادئ الهندسة الكهربائية بالاعتماد على طريقة النظم. فطرية الماكنة الموحدة مثلا كانت تعتبر صعبة جدا ومعقدة رياضيا مثل هذه المرحلة. وقد تمكن المؤلفان من تقديمها بشكل سلس ومفهوم لطلاب الدراسة التقنية المتديء. كما ان الاظمية الالكترونية قد عولجت هي الأخرى بالرغم من اعطاء اهتمام مناسب للمكونات الالكترونية.

يستخدم الكتاب الوحدات القياسية الدولية SI والاصطلاحات والاجتصاصات متفقة مع مقترحات معهد المهندسين الكهربائيين. كما يحوي الكتاب على عدد كبير من الامثلة المحلولة وعدد من الاسئلة الامتحانية في نهاية كل فصل.

نبذة عن حياة المؤلفين

ابان مكزري سميت

يحمل شهادة بكالوريوس علوم (شرف) ودبلوم عالي في التربية ومهندس مجاز وعضو معهد المهندسين الكهربائيين وعضو معهد مهندسي الاديوي وعضو اقدم معهد المهندسين التقنيين ويعمل رئيسا لقسم الهندسة الكهربائية في كلية ستواهندسة في كلاسكو. قام بتدريس طلبة الشهادات الاعتيادية والعالية والوطنية وطلبة الدبلوم لعدد من السنوات وقد ساعد في ايجاد طرق حديثة في تدريس الهندسة الكهربائية في مثل هذا المستوى كما يعمل ممتحنا ومستشارا لمنظمة SANCAD

كينث تي هوزي

يحمل شهادة بكالوريوس علوم ومهندس مجاز وعضو معهد المهندسين الكهربائيين ويعمل مدرسا اقدما للالكترونيات في كلية بيل التكنولوجية في هاملتن. كما يعمل ممتحنا ومستشارا لمنظمة SANCAD وقد حصل على خبرة في احضار الادلة التعليمية لها.

وَزَارَةُ التَّعْلِيمِ الْعَالِيِّ وَالْبَحْثِ الْعِلْمِيِّ

جَامِعَةُ المَوْصِلِ

عِلْمٌ
الْمُهَنْدِسِيَّةُ الكَهْرِبَائِيَّةُ الِاسْتِشْرَاقِيَّةُ

تَأليف

آي. مَكْرِي سَمِيثٌ و كِي. تِي. هُوَزِي

تَرْجُمة

الدكتور ظفر أنور النعمة

و

الدكتور محمد زكي محمد خضير

مدرس بقسم الهندسة الكهربائية

جامعة الموصل

رئيس قسم الهندسة الكهربائية

بالوكالة - جامعة الموصل

I. McKenzie Smith and K.T. Hosie

B.Sc., Dip.A.Ed., C.Eng., M.I.E.E., M.I.E.R.E., F.I.T.E.
Head of Department of Electrical Engineering
Stow College of Engineering
Glasgow

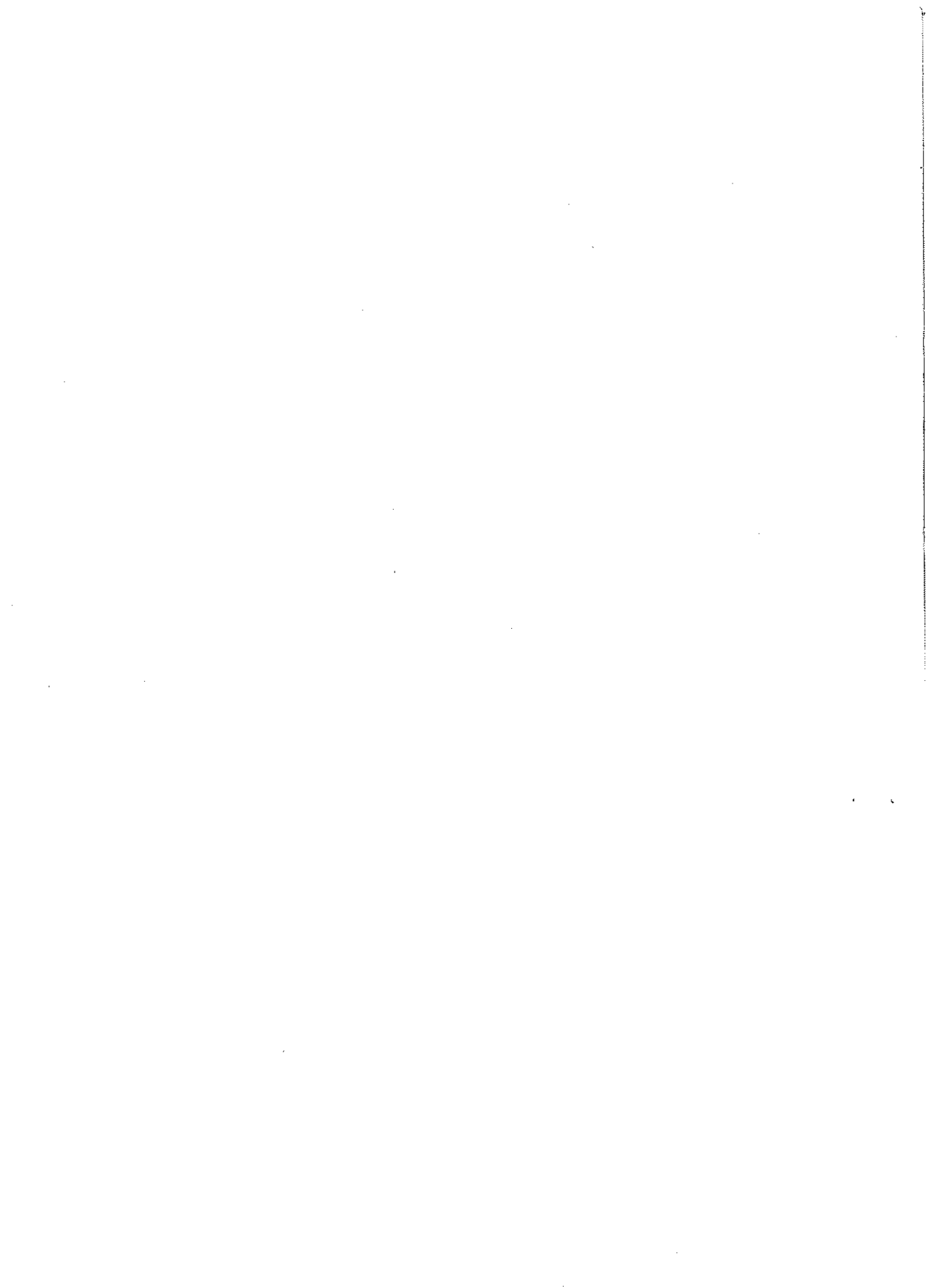
B.Sc., C.Eng., M.I.E.E.,
Senior Teacher of
Electronics Engineering
Department of
Electrical Engineering
Bell College of Technology,
Hamilton

Basic electrical engineering science

Publisher Longman Group Limited London

First published 1972
Second impression 1973

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



المحتويات

الصفحة		الفقرة
13	مقدمة المترجمين	
15	مقدمة المؤلفين	
17	قائمة المصطلحات والرموز ومختصرات الوحدات	
19	مدخل الى الكميات الكهربائية	1
19	الشحنة الكهربائية	1-1
20	حركة الالكترونات	2-1
20	سريان التيار في دائرة	3-1
22	القوة الدافعة الكهربائية وفرق الجهد	4-1
23	الرموز والمختصرات	5-1
24	مبدأ قانون أوم	6-1
25	الوحدات القياسية العالمية (SI)	7-1
26	الوحدات الأساسية لنظام S-I	8-1
27	الوحدات المشتقة في نظام S-I	9-1
33	دراسة الدائرة	10-1
33	مسائل على مدخل الى الكميات الكهربائية	
36	دوائر التيار المستمر	2
36	التوصيلية في الدوائر	1-2
37	قانونا كرشوف	2-2
38	المقاومات على التوالي وعلى التوازي	3-2
41	التوصيف برموز سفلية مزدوجة	4-2
43	المقاومية والموصلية	5-2
45	معامل درجة الحرارة للمقاومة	6-2
49	تحليل الشبكات المعقدة باستعمال قانوني كرشوف	7-2
53	تحليل الشبكة باستعمال تيارات ماكسويل الدوارة	8-2
55	الخلايا الحاووية على مقاومات داخلية	9-2
56	نظرية ثفنن	10-2
61	مولد التيار الثابت	11-2
63	نظرية نورتن	12-2
5		

الصفحة		الفقرة
65	نظرية التراكب	13-2
68	مسائل على دوائر التيار المستمر	
76	الكميات المتناوبة	3
76	التردد والفترة	1-3
77	الموجات الجيبية	2-3
78	قيم الذروة وجذر متوسط التربيع (ج.م.ت.) والمتوسط للتيار المتناوب	3-3
84	مخططات المتجه والمكب والطوري	4-3
89	التوصيف القطبي	5-3
90	استعمال قانوني كرشوف في دوائر التيار المتناوب .	6-3
94	مسائل على الكميات المتناوبة	
97	عناصر الكهر ومغناطيسية	4
97	استعراض المجال المغناطيسي وقطبيته	1-4
99	التدفق المغناطيسي وكثافة التدفق	2-4
101	القوة على موصل حامل للتيار	3-4
103	ق . د . ك . المحتنة	4-4
104	قانون لينز	5-4
105	قانون فراداي	6-4
109	شدة المجال المغناطيسي والقوة الدافعة المغناطيسية	7-4
113	الانفاذية	8-4
117	المغناطيسية الحديدية ونظرية التكتل	9-4
120	مسائل على عناصر الكهر ومغناطيسية	
122	تطبيقات النظرية الكهر ومغناطيسية	5
122	المحاثة الذاتية	1-5
123	المعاوقة والمنافذة	2-5
126	المحاثة الذاتية للملف لولبي طويل	3-5
128	المحاثة الذاتية للملف حلقي منتظم اللوائف	4-5
129	المحاثة التبادلية	5-5
134	الاق . د . ك . المحتنة في دائرة	6-5
138	خزن الطاقة في المحثات	7-5
140	ثابت الزمن	8-5
142	الملف الدوار في مجال منتظم	9-5
145	الدارة التخلفية	10-5

الصفحة		الفقرة
146	فقد التخلفية	11-5
151	فقد التيار الدوامي	12-5
153	الدوائر المغناطيسية	13-5
161	عوامل الدائرة المغناطيسية	14-5
163	مسائل على تطبيقات النظرية الكهرومغناطيسية	
173	علم الكهروستاتيكية والسعة	6
173	خواص المجال الكهربائي	1-6
175	شدة المجال الكهربائي والجهد	2-6
177	التدفق الكهربائي وكثافة التدفق	3-6
177	السماحية	4-6
179	السعة	5-6
181	المسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين البسيطة	6-6
183	تيار الشحن وخزن الطاقة	7-6
186	المسعات على التوازي والتوالي	8-6
190	المسعة المتوازية الصفيحتين مع عازلين	9-6
192	القوة على الصفائح المشحونة	10-6
196	ثابت الزمن	11-6
198	مسائل على الكهروستاتيكية والسعة	
202	دوائر التيار المتناوب ذات الطور الواحد	7
202	المقاومة	1-7
203	المحاطة	2-7
205	المقاومة والمحاطة على التوالي	3-7
209	السعة	4-7
211	مقاومة وسعة على التوالي	5-7
213	الدائرة العامة على التوالي للتيار المتناوب	6-7
217	القدرة	7-7
223	الدوائر المتوازية البسيطة	8-7
226	دوائر الممانعات المتوازية	9-7
231	الممانعات القطبية	10-7
235	المسارات القطبية	11-7
237	الرنين	12-7
245	مخططات القدرة	13-7

الصفحة		الفقرة
249	تحسين عامل القدرة	14-7
251	قياس القدرة	15-7
252	افتراض شكل موجة جيبي	16-7
254	مسائل على دوائر التيار المتناوب ذات الطور الواحد	
264	استخدامات التوصيف z	8
264	مخططات المركب	1-8
266	العامل z	2-8
267	عملية المركب	3-8
270	الممانعة	4-8
277	المسارية	5-8
280	القدرة	6-8
286	مسائل على استخدامات التوصيف z	
289	دوائر التيار المتناوب متعددة الاطوار)
289	الانظمة المتعددة الاطوار	1-9
292	انظمة الربط النجمي المتماثل	2-9
298	انظمة ربط الدلتا المتماثل	3-9
302	الربط المتداخل للانظمة المربوطة بشكل نجمي وبشكل دلنا	4-9
306	القدرة في النظام ذي ثلاث اطوار المتوازن	5-9
306	تحسين عامل القدرة	6-9
308	قياس القدرة في الدوائر ذات الثلاث اطوار	7-9
312	مسائل على التيار المتناوب متعددة الاطوار	
317	المحولات	10
317	مبادئ العمل	1-10
320	المحول المثالي	2-10
322	المحول العملي	3-10
323	مغنطة اللب	4-10
324	تحويل الممانعة	5-10
326	الفقد في الخول	6-10
326	تسرب التدفق في الخول	7-10
328	مسائل على المحولات	
331	النظرية الموحدة للمكائن	11
331	عملية التغيير في الماكنة	1-11
335	طرق تحليل اداء الماكنة	2-11

الصفحة		الفقرة
337	طاقة المجال المغناطيسي	3-11
338	تحليل بسيط لقوة المحاذاة	4-11
339	موازنة الطاقة	5-11
342	توزيع الطاقة المغيرة والقادرة	6-11
347	قوة المحاذاة بين سطحين ممغنطين متوازيين	7-11
350	مرحل الملف اللولبي والغاطس	8-11
354	ال ق . د . ك . المحتنة	9-11
357	قوة الفعل المتداخل	10-11
362	مسائل على النظرية الموحدة للمكانن	
369	المكانن الدوارة	12
369	الحركة الدورانية	1-12
369	المحرك المعاوق	2-12
372	المكانن الدوارة مزدوجة الاثارة	3-12
380	العزم الناتج من قوى الفعل المتداخل	4-12
383	المكانن ذات القطب النائي	5-12
386	المكانن الخطية	6-12
388	النظرية عند التطبيق	7-12
388	لفائف الطور	8-12
393	لفائف المبدل	9-12
397	أصناف الماكنة الكهربية	10-12
397	المكانن التزامنية والحثية	11-12
398	مكانن المبدل للتيار المستمر	12-12
399	مسائل على المكانن الدوارة	
403	الفيزياء الكهربية	13
403	التركيب الذري ومستويات الطاقة	1-13
404	الموصلات والعوازل وانصاف الموصلات	2-13
406	التوصيل في المعادن وانصاف الموصلات	3-13
408	انصاف الموصلات نوع س ونوع م	4-13
409	تأثير الحرارة والضوء والانفعال على المقاومة	5-13
410	الاشعاع الذري	6-13
412	مسائل على الفيزياء الالكترونية	
415	التقويم	14
415	مفترق م - س	1-14

الصفحة		الفقرة
418	دوائر المقوم	2-14
418	المقوم نصف الموجي مع حمل مقاومي	1-2-14
423	شبكة مقوم كامل الموجة مع حمل مقاومي	2-2-14
426	شبكة مقوم قنطري مع حمل مقاومي	3-2-14
429	التسوية	3-14
433	دوائر المقوم لثلاث اطوار	4-14
436	مسائل على التقويم	
439	دوائر الترانزستر	15
439	عمل الترانزستر نوع س - م - س ونوع م - س - م	1-15
441	مميزات الترانزستر	2-15
442	الباعث المشترك	1-2-15
444	القاعدة المشتركة	2-2-15
445	المجمع المشترك	3-2-15
446	الترانزستر كمضخم	3-15
454	البارامترات	4-15
465	تي بارامتر	1-4-15
470	الاستجابة للتردد العالي والواطيء	5-15
471	مسائل على دوائر الترانزستر	
475	النظم الالكترونية	16
476	مبادئ المضخم الاساسية	1-16
480	الوحدات اللوغارتمية	2-16
482	الدوائر المكافئة للمضخمات	3-16
486	استجابة التردد	4-16
488	التغذية الخلفية	5-16
494	البوابات المنطقية	6-16
499	منطق الضم	7-16
510	مسائل على الانظمة الالكترونية	
515	القياسات واجهزة القياس	17
515	مجهد التيار المستمر	1-17
520	قنطرة ويتسون	2-17
521	القنطرة العامة	3-17
522	جهاز متحرك الملف	4-17

الصفحة		الفقرة
526	توسيع المدى	5· 17
529	المقياس المقوم	6· 17
530	جهاز الفحص متعدد الامداء	7· 17
531	مقياس فحص العزل	8· 17
533	اميتر المزدوجة الحرارية	9· 17
534	الجهاز الكهرو ديناميكي	10· 17
536	الجهاز متحرك الحديدية	11· 17
538	الفولتميتر الكهروستاتيكي	12· 17
539	تأثير المقاييس على الدوائر	13· 17
541	الفولتميتر الالكتروني	14· 17
543	مرسمة التذبذبات	15· 17
546	الكلفانوميتر القذفي	16· 17
550	مقياس التدفق	17· 17
552	مسائل على القياسات واجهزة القياس	
555	المصطلحات العلمية المستعملة في الكتاب انكليزي - عربي	
569	المصطلحات العلمية المستعملة في الكتاب عربي - انكليزي موجز عن الكتاب نبذة عن حياة المؤلفين	



مقدمة المترجمين

لقد كانت اللغة العربية هي اللغة الاساسية للعلم والادب لعدد من القرون . وقد كانت حركة الترجمة والتأليف بها في العلوم التطبيقية على أشدها حينئذ . كما أنه لا شك في امكانية اللغة العربية على استيعاب تلك العلوم وما استحدثت الآن من مصطلحات علمية حديثة بفضل قابليتها على الاشتقاق وسعة مفرداتها . الا انه مما يحز في النفس أن نجد أن عدد الكتب العلمية الحديثة باللغة العربية قليل جداً اذا ما قورن بالمؤلفات العلمية المتوفرة في كثير من اللغات الحية الاخرى .

لذلك فان من الضروري المبادرة الى سد العجز في هذا الحقل المهم من العلوم في الوقت الحاضر . ولقد كانت مبادرة وزارة التعليم العالي والبحث العلمي في العراق بالبدء بتعريب التعليم الجامعي حافزاً للبدء بترجمة هذا الكتاب . ونظراً لكون هذا الكتاب مقرراً لطلبة الصف الاول في كافة أقسام الهندسة الكهربائية في الجامعات العراقية لذلك فقد وقع الاختيار عليه للترجمة ، هذا بالإضافة الى امكانية استخدامه ككتاب اولي شامل لعلوم الهندسة الكهربائية لغير المتخصصين او لطلبة مؤسسة المعاهد الفنية وغيرها . وذلك لسهولة اسلوبه وعدم توسعه في الرياضيات العالية ووضوح أمثلته وارتباطها بالتطبيق العملي مباشرة .

لقد اتبعنا في ترجمة هذا الكتاب ملاحظات الهيئة العليا للتعريب في وزارة التعليم العالي والبحث العلمي قدر الامكان فيما يتعلق بالمصطلحات واستخدام المعادلات والرموز بلغتها الاصلية كما الحق بالكتاب جدول بالمصطلحات العربية المستخدمة لكي يرجع اليها الطالب كما اشير الى مصادر تلك المصطلحات . يود المترجمان تقديم الشكر لكافة الذين أبدوا ملاحظاتهم حول الترجمة الاولية والذين ساعدوا في طبع هذا الكتاب ونأمل أن يكون هذا الجهد المتواضع بداية طيبة لحركة الترجمة في التعليم الهندسي والتي نأمل لها النجاح التام والله الموفق .

الموصل - تموز / ١٩٧٧



مُتَلَكَّة

تلك هي ملاحظة صحيحة جداً -

بفضل حججهم ٥٥٥٥

نحن الآن في الظلام ٥٥٥

دبلو . اس . جلبرت

ان الهدف من هذا الكتاب هو توفير مقدمة لعلم الهندسة الكهربائية . ففي خلال العشر سنوات الماضية تعرض هذا العلم الى الكثير من التغييرات . لذلك فان المؤلفين يشعرون بأن هذا الكتاب سيساعد في فهم الطريقة الحديثة للموضوع . يغطي الكتاب ما يحتاجه طالب الهندسة التقنية ويعتمد على محاضرات القيت على طلبة الشهادة الوطنية الاعتيادية في خلال السنوات الماضية . وبالاخص فان الكتاب يتبع منهج هذه الشهادة المعد من قبل المنظمة الاسكتلندية للشهادات الوطنية والدبلومات . وقد أضيفت بعض الاجزاء اليه لتغطية كافة مواضيع الشهادة المذكورة الاخرى قدر الامكان . فنتج من ذلك توسيع محتويات الكتاب بطريقة أثبتت فائدته لكافة طلبة الدراسات التقنية في الهندسة الكهربائية والالكترونية .

لقد وضعت في هذا الكتاب اربعة ابتداعات جديدة بخلاف الكتب التقليدية . اولها استخدام النظام العالمي للوحدات (S.I) في الكتاب كله . لذلك فان الطالب عليه ان يهتم بهذا النظام فقط حيث انه النظام العالمي المعترف به في الهندسة الان .

وثانيها ان كتب التقديم المكتوبة لمستويات مشابهة كانت تعتمد خلال العشر سنوات الماضية على الاسلوب التقليدي في الهندسة الكهربائية والالكترونية . اما الان فمن الاعتيادي في اسكتلندا وفي اجزاء كثيرة من انكلترا استخدام طريقة الانظمة في تدريس الالكترونيات والمكائن أيضاً . لذلك فقد وضع فصل يحتوي على دراسة انظمة الشبكات الالكترونية بدلاً من المعالجة التقليدية للمكونات .

كما أنه خلال العشر سنوات الماضية أيضاً ازدادت اهمية الكرونيات انصاف الموصلات الى مستوى يقارن على الاقل مع اهمية المكائن . لذلك فقد وضعت اربعة فصول في انظمة الالكترونيات لكي تتضمن دراسة الالكترونيات والدوائر الالكترونية . ان المؤلفين يشعرون بان هذا الابتداع مرغوب فيه لاكمال التوازن بين الهندسة الالكترونية وهندسة القوة .

اما الابتداع الاخير فهو بصدد دراسة المكائن . ففي السنوات الماضية اصبح جلياً أنه من غير الكافي دراسة نوع محدد من المكائن وكأنها موضوع مستقل . ان طريقة موحدة مطلوب تقديمها تبين كون ان كافة المكائن وبالأخص المكائن الكهرومغناطيسية هي تغييرات تركيبية اساسها واحد . وهذه الطريقة الموحدة تستخدم الان من قبل عدد متزايد من مؤسسات الفحص المشهورة . ويأمل المؤلفان كما يعتقدان أن هذا الاسلوب سيستخدم من قبل الاخرين في الوقت المناسب تاركين الانظمة المجزأة القديمة وكذلك نظرية المكائن العامة المبسطة والتي هي فوق امكانية استيعاب كثير من المهندسين التقنيين . ان الاسلوب الموحد المقدم في هذا الكتاب يعتمد على الأساس المقدم من قبل لجنة SANCAID والتي يرأسها البروفسور

أم . جي . ساي وهذا الاسلوب قد استخدم من قبل الكثير من المؤلفين خلال السنوات القليلة الماضية وقد وجد أنه ذو فائدة كبيرة .

ان الاشارات والاختصارات الموجودة في هذا الكتاب تتفق مع مقترحات معهد المهندسين الكهربائيين المستخدمة في دراسات الهندسة الكهربائية والالكترونية والذي قدم في عام 1968 . كما ان الاشارات والاختصارات التي لا يحويها تتفق مع منشورات المعهد البريطاني للتقييس المرقمة BSS 1991 و BSS 3939 و 5686 (P .) . ولغرض تجنب اي التباس فان الاشارات والاختصارات لم تمزج مع بعضها البعض .

ان عدداً لأبأس به من الأمثلة المحلولة قد وضع في الكتاب لمساعدة الطالب لفهم الاسس المحتواة فيه وفي نهاية كل فصل هناك عدد من الأمثلة تساعد الطالب للتعلم بنفسه . وكثيرا من هذه الامثلة قد أخذ من أسئلة الامتحانات الحالية للمنظمة الاسكتلندية للشهادات الوطنية والدبلومات . وقد اشير الى هذه الامثلة بـ SANCAD . ان المؤلفين يشعرون بالامتنان والشكر لهذه المنظمة للسماح لهما باستخدام هذه الامثلة .

واخيراً فان المؤلفين يودان شكر السيد ديليو . إي . آي . ماكليود من كلية كلاسكو للتكنولوجيا بسبب مشورته ومساعدته في احضار هذا الكتاب كما يشكر السيد آي مكنزي سميث السيدة بي . رولاند من كلية بريج التقنية والبروفسور ام . جي . ساي والسيد ام . هاوس من كلية نابيير للعلوم والتكنولوجيا بسبب المناقشات المفيدة على النظرية الموحدة للمكانن يود المؤلفان تقديم الشكر ايضا لكافة الاصدقاء والمشاركين الذين ساعدوا في هذا الكتاب .

ملتكافي - ايلول 1971

قائمة المصطلحات والرموز ومختصرات الوحدات

الوحدة	الرمز	المصطلح بالانكليزية	المصطلح بالعربية
m/s ²	a	Acceleration, linear	التعجيل الخطي
S	Y	Admittance	المسارية
m ²	A	Area	المساحة
F	C	Capacitance	السعة
C	Q	Charge	الشحنة
S	G	Conductance	المواصلة
S/m	γ (gamma)	Conductivity	الموصلية
A	I	Current	التيار
A/rad,A/m	A	Current surface density	الكثافة السطحية للتيار
-	η (eta)	Efficiency	الكفاءة
V/m	E	Electric field strength	شدة المجال الكهربائي
C	Q	Electric flux	التدفق الكهربائي
C/m ²	D	Electric flux density	كثافة التدفق الكهربائي
V	V	Electric potential	الجهد الكهربائي
V	E	Electromotive force	القوة الدافعة الكهربائية
V	W	Energy	الطاقة
N	F,f	Force	القوة
-	k _r	Form factor	عامل الشكل
Hz	f	Frequency	التردد
rad/s	ω (omega)	Frequency, angular	التردد الزاوي
Hz	f _r	Frequency, resonant	تردد الرنين
-	G	Gain	الكسب
H	L	Inductance	الحثية
H	M	Inductance, mutual	الحثية التبادلية
Ω (omega)	Z	Impedance	الممانعة
-	σ (sigma)	Leakage factor	عامل التسرب
m	l	Length	الطول
kg	m	Mass	الكتلة
At/m	H	Magnetic field strength	شدة المجال المغناطيسي

Wb	Φ (phi)	Magnetic flux	التدفق المغناطيسي
T	B	Magnetic flux density	كثافة التدفق المغناطيسي
Wb t	Ψ (psi)	Magnetic flux linkage	وصلية التدفق المغناطيسي
At	F	Magnetic potential difference	فرق الجهد المغناطيسي
At	F	Magnetomotive force	القوة الدافعة المغناطيسية
s	T	Period	الفترة
H/m	μ (mu)	Permeability	الانفاذية
H	Λ (lambda)	Permeance	المنافذة
F/m	ϵ (epsilon)	Permittivity	السماحية
rad	ϕ (phi)	Phase angle	زاوية الطور
W	P	Power, active	القدرة الفعالة
VA	S	Power, apparent	القدرة الظاهرية
var	Q	Power, reactive	القدرة المتفاعلة
Ω (omega)	X_C	Reactance, capacitive	مفاعلة سعوية
Ω (omega)	X_L	Reactive, inductive	مفاعلة حثية
/H أو At/Wb	S	Reluctance	المعاوقة
Ω (omega)	R	Resistance	المقاومة
Ω m	ρ (rho)	Resistivity	المقاومية
-	β (beta)	Stacking factor	عامل الرص
S	B	Susceptance	التقبلية
K	α (alpha)	Temperature coefficient	معامل درجة الحرارة
$^{\circ}$ C	θ (theta)	Temperature difference	فرق درجة الحرارة
s	t	Time	الوقت - الزمن
Nm	T, M	Torque	العزم
rad	λ (lambda)	Torque angle	زاوية العزم
J	W	Work	الشغل
rad/s, rev/s	ω (omega), n	Velocity, angular	السرعة الزاوية
m/s	u	Velocity linear	السرعة الخطية
m^3	V	Volume	الحجم

الفصل الأول

مدخل إلى الكميات الكهربائية

الهندسة الكهربائية هي استخدام الكهرباء لخدمة الانسان . والكهربائية هي عبارة عن ظاهرة فيزيائية تنطبق عليها قوانين حفظ الطاقة وتخضع لخواصها للتجارب العلمية .

1-1 * الشحنة الكهربائية

تظهر الكهرباء بأحد شكلين اصطلاح على تسميتهما بالكهربائية السالبة والكهربائية الموجبة . الشحنة الكهربائية هي الزيادة في الكهرباء السالبة او الموجبة على جسم او في الفراغ . فاذا ما زادت الكهرباء السالبة قيل عن الجسم انه سالب الشحنة والعكس بالعكس .

من المعروف ان المادة تحتوي على عدد كبير من الجسيمات والتي تسمى بالجزئيات وهي أصغر جزء من المادة يمكن ان توجد بصورة منفردة . ويمكن تقسيم الجزئيات هذه الى ذرات ترتبط مع بعضها باواصر . والذرة هذه هي اصغر جسيم من المادة يمكن ان يشترك في التغييرات الكيميائية . لانتشابه ذرات المواد المختلفة مع بعضها البعض . الا ان هناك 98 نوعاً مختلفاً في الطبيعة من هذه المواد كالذهب والحديد والاكسجين ... الخ . ويدعى كل نوع من هذه الانواع بالعنصر وتحتوي كل ذرة من ذرات هذه العناصر على ثلاث مكونات اساسية هي :

1 الالكترونات

2 البروتونات

3 النيوترونات

الالكترون هو جسيم اولي مشحون بكمية ثابتة من الكهرباء السالبة ويعرف البرتون بشكل مشابه الا ان شحنته الكهربائية موجبة . اما النيوترون فانه غير مشحون على الاطلاق ، لذا يكون متعادلاً . وفي كل ذرة يكون عددا الالكترونات مساو لعدد البروتونات ، وعليه فان عدد البروتونات هو الذي يحدد نوع العنصر الذي تعود له الذرة . ويمكن ان تفقد الذرة الكتروناً واحداً او اكثر من الكترونها او ان تكتسب الكتروناً او اكثر ، علماً ان ذلك لا يغير من تصنيف العنصر ولكن يغير من توازنه الكهربائي .

فالذرة التي يزيد عدد الكترونها عن بروتونها تصبح سالبة الشحنة وتسمى عندئذ أيوناً . يسمى الجسم المحتوي على عدد من الذرات المتأينة بالجسم المشحون كهربائياً ومن الممكن ان تثبت

لقد استخدم رقم الفقرة مبتدئاً من اليمين الى اليسار مثلاً 1-1 : 2-1 ، ... الخ وكذلك رقم المثال . أما رقم المعادلة فقد استخدم من اليسار الى اليمين نظراً لضرورة ابقاء المعادلات بلغتها الاصلية

تجريبياً بأن الأجسام المشحونة بشحنة موجبة والأجسام المشحونة بشحنة سالبة تتجاذب نحو بعضها البعض بينما الأجسام المشحونة بشحنات متشابهة تتنافر عن بعضها البعض .

2-1 حركة الالكترونات

تمتلك الالكترونات طاقة كامنة (Potential energy) . وتحرك بشكل طليق من مستوى طاقة الى مستوى طاقة آخر اذا ما وجدت في وسط مناسب . وعندما تكون هذه الحركة بشكل منظم تسمى بـسريان التيار الكهربائي . وقد اضطلع على اعتبار ان التيار يسري من نقطة عالية الطاقة الى نقطة واطنة الطاقة . حيث يقال عن هاتين النقطتين بأنهما تحتويان على جهد عالٍ وجهد واطيء على التوالي . كما أن من المناسب تسمية النقطة عالية الجهد بالموجبة والواطنة الجهد بالسالبة . لذا فقد اصطلح على ان اتجاه سريان التيار هو من الموجب الى السالب .

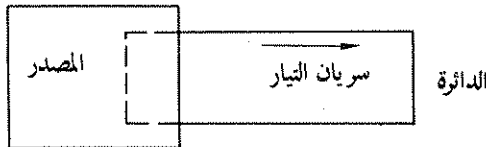
لقد كان هذا الاصطلاح شائعاً قبل اكتشاف طبيعة الشحنة الكهربائية . ولسوء الحظ فقد وجد أن الالكترونات تسير بعكس ذلك الاتجاه . حيث ان الالكترونات سالبة الشحنة تنجذب نحو الجهد الموجب لذا فان سريان التيار التقليدي هو بعكس اتجاه سريان التيار الالكتروني . وبصورة اعتيادية فان التيار التقليدي هو الذي يوصف بالتعبير تيار (Current) وسيستخدم في هذا الكتاب بهذه الصيغة . يتم انتقال الالكترونات بصورة أسهل في الوسط الذي تكون فيه الذرات مستعدة لفقدان الكتروناتها كذرات النحاس والألمنيوم والفضة ... الخ . وتدعى مثل هذه المواد بالموصلات (Conductors) . كما تسمى المواد التي لا تسمح بسريان الالكترونات بسهولة بالعوازل (Insulator) كالخزف والنايلون والمطاط ... الخ .

وهناك مجموعة من المواد تسمى انصاف الموصلات (Semiconductors) والتي لها خواص معينة تختلف عن كل من المجموعتين السابقتين . وسيتم تفصيل عملية التوصيل في الفصل 13 .

3-1 سريان التيار في دائرة

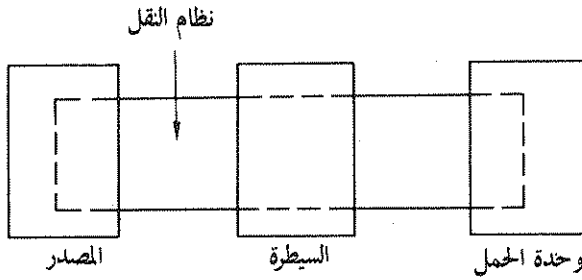
ان سريان التيار الكهربائي بقدر كافٍ ضروري لمعظم التطبيقات العملية . وهذا لا يمكن أن يحدث ما لم تتوفر الشروط التالية :

- 1- ان يكون هناك دائرة كاملة تتحرك حولها الالكترونات . فاذا لم تستطع الالكترونات العودة الى نقطة بدايتها فان سريان التيار يتوقف .
- 2- ان يكون هناك تأثير يحرك الالكترونات ويسبب استمرارية السريان . وبجهاز هذا التأثير عادة من مصدر يسبب مغادرة التيار بجهد عالٍ متحركاً حول الدائرة حتى يصل الى المصدر بجهد واطيء . ان ترتيب الدائرة هذا موضح في شكل 1-1



شكل 1-1 دائرة أولية

يسمى التأثير المحرك بالقوة الدافعة الكهربائية (Electromotive Force) وسرمز له من الان فصاعداً بالـ $e.m.f.$ وفي كل حالة تمر الشحنة فيها خلال المصدر ويقوم الأخير بتجهيز طاقة جديدة تمكن الشحنة من الاستمرار مرة ثانية بالدوران . وتلك هي عملية مستمرة نظراً لأن سريان التيار مستمر . ومما يجب ملاحظته ان التيار هو معدل سريان الشحنة خلال مقطع من الدائرة . تتكون الدائرة الكهربائية الأساسية من أربعة أجزاء كما مبين في شكل 2-1 والتي هي :



شكل 2-1 اجزاء دائرة كهربائية

المصدر (Source)

لقد مر بنا سابقاً وصف المصدر . ويمكن في المرحلة هذه اعتبار المصدر بطارية . وستمر بنا أنواع أخرى من المصادر كالمولدات مثلاً .

وحدة الحمل (Load Unit)

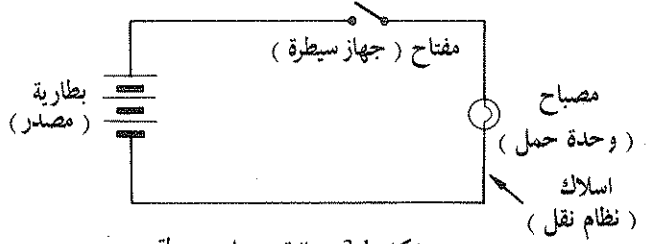
تقوم هذه الوحدة بامتصاص وتحويل الطاقة الكهربائية المجهزة من المصدر . وتشكل معظم الأدوات الكهربائية حملاً على المنظومة الكهربائية . أي انها تستلم الطاقة من المنظومة . وكأمثلة على الاحمال الشائعة : المصابيح (Lamps) والسخانات (Heaters) والمحركات (Motors)

منظومة النقل (Transmission System)

من الضروري وجود منظومة النقل هذه لغرض نقل التيار بين المصدر ووحدة الحمل .

جهاز السيطرة (Control Apparatus)

كما يفهم من هذه التسمية فان وظيفة هذا الجهاز هي السيطرة . ويمثل المفتاح (Switch) أبسط مسيطر حيث يسمح للتيار بالمرور تارة ويقطعه تارة أخرى . والشكل 3-1 يمثل دائرة بسيطة تقوم البطارية فيها بتزويد مصباح بالطاقة . بينما وضع المفتاح لاضاءه او اطفاء المصباح .



شكل 3-1 دائرة مصباح بسيطة

ان هذا المثال البسيط يوضح عمل الدائرة الكهربائية الأساسي والمتمثل بنقل الطاقة من مصدر الادخال الى جهاز تحويل الطاقة . وتسمح الكهربائية بان يكون مصدر الطاقة بعيداً عن نقطة التحويل وقيل تحليل هذه الطريقة لنقل الطاقة . من الضروري مناقشة العلاقة بين الطاقة وسريان الشحنة في الدائرة لأنه يمكن للتيار أن يمر بشكل مستمر في اتجاه واحد . وعندها يسمى تياراً مستمراً أو أن يغير اتجاهه باستمرار وعندها يسمى تياراً متناوباً . ويمكن اختصار هذين الاسمين بـ (d.c.) و (a.c.) ، فعند وصف موضوع ما يقال مثلاً محرك d.c. او اشارة a.c. .

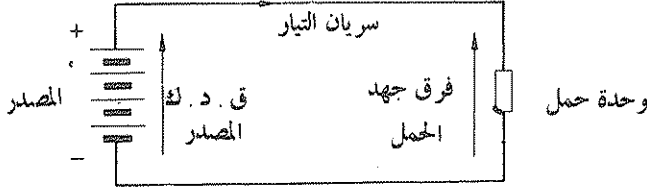
4-1 القوة الدافعة الكهربائية وفرق الجهد

تمثل القوة الدافعة الكهربائية التأثير المحرك الذي يسبب سريان التيار . والقوة الدافعة الكهربائية (ق . د . ك .) هي ليست قوة بل هي الطاقة المستهلكة عند مرور وحدة الشحنة خلال المصدر . وتكون ال (ق . د . ك .) على الدوام مرتبطة بتحويل الطاقة .

تنقل الطاقة المجهزة الى وحدة الحمل بواسطة منظومة النقل . وتسمى الطاقة الناتجة من نقل وحدة الشحنة بين نقطتين في الدائرة بفرق الجهد (Potential Difference) . فاذا ما نقلت كل الطاقة من المصدر الى وحدة الحمل فان فرق الجهد عبر وحدة الحمل يساوي ال (ق . د . ك .) للمصدر . مما سبق يلاحظ بأن ال (ق . د . ك .) وفرق الجهد هما كميتان متشابهتان . الا ان ال (ق . د . ك .) تكون فعالة على الدوام حيث تحاول انتاج تيار كهربائي في الدائرة . بينما يمكن ان يكون فرق الجهد فعالاً أو خاملاً . ويكون فرق الجهد خاملاً حينما لا يكون بإمكانه استحداث تيار في الدائرة .

في دائرة ما من المعتاد اعتبار منظومة النقل متألية أي انها تنقل كل الطاقة من المصدر الى وحدة الحمل بدون خسارة . وستمر بنا أمثلة على الحالات غير المتألية فيما بعد .

من المفيد ان نمر على بعض الاصطلاحات المتعلقة بال (ق . د . ك .) وفرق الجهد في مخطط الدائرة حيث ان كليهما يمثلان بسهم كما مبين في شكل 4-1 . وفي كل حالة يتجه رأس السهم نحو النقطة ذات الجهد العالي (أو المفترض انها اعلى) . وعلينا ان نتحاشى استخدام رأس السهم في كل نهاية خط خشية حدوث الالتباسات الناجمة عن وجود نفس الاستخدام في خطوط القياس في الرسم الهندسي .



شكل 4-1 مصطلحات مخطط الدائرة

لذلك يرسم رأس السهم على نظام النقل لتمثيل اتجاه سريان التيار العائد له . فنلاحظ ان سريان التيار يغادر المصدر من الطرف الموجب متحركاً بنفس الاتجاه المبين بسهم مصدر (ق . د . ك .) ، كما يدخل التيار الى الحمل من الطرف الموجب أي بعكس الاتجاه المبين بسهم فرق الجهد للحمل . ان الطاقة تحول داخل وحدة الحمل . واعتماداً على طبيعة هذا التحويل يمكن ان يتكون فرق الجهد باشكال متعددة . الا انه يكفي مبدئياً ان نعتبر ان فرق الجهد هو التغيير في مستوى الطاقة عبر طرفي وحدة الحمل والذي يسمى هبوط الفولت (Volt Drop) نظراً لأن فرق الجهد (ق . د . ك .) تقاسان بنفس الوحدة وهي الفولت .

5-1 الرموز (Symbols) والمختصرات (Abbreviations)

في الدوائر الكهربائية البسيطة التي تحتوي على مصدر واحد وحمل واحد ونظام نقل مثالي بسيط يستبعد وقوع الشك او الالتباس فيها حيث ان لكل كمية حد يعرفها بدقة فالمصدر مثلاً يعرف بـ (ق . د . ك .) وهكذا . اما عند محاولة تحليل الدائرة الكهربائية رياضياً فمن الاسهل الاصطلاح على رموز تمثل الكميات فمثلاً E بدلاً من $(e \cdot m \cdot f)$ و V بدلاً من فرق الجهد .. الخ . وعندئذ يرمز لكل كمية كهربائية بحرف يميزها ، كما ان اختيار هذه الرموز لم يأت عفويًا بل أصبح متعارفاً عليه حسب اقتراح (الهيئة العالمية للكهرباء وتقنية) و (معهد القياس البريطاني) ويمكن الرجوع الى قائمة بالرموز والمختصرات المستعملة في بداية هذا الكتاب . عند استعمال كمية كهربائية يطلب تحديدها بدقة يمكن استحداث رمز جديد لها كما في المثال التالي :

الرمز : E

القوة الدافعة الكهربائية

لذا لانحتاج الى تعريف مثل هذا الرمز ثانية ولكن لغرض التمييز بين عدة كميات بالامكان اضافة توصيف (Subscript) لحرف الرمز مثلاً (E_1) و (E_2) . وفي الحالات التي يطلب الاشارة الى القيمة العظمى يضاف التوصيف (m) مثلاً (E_m) . كما انه في نظرية الدوائر الكهربائية من الاعتيادي الرمز الى القيمة الثابتة بالحروف اللاتينية الكبيرة (Capital Letters) وبالحروف اللاتينية الصغيرة (Small Letters) للكميات المتغيرة مع الزمن مثلاً (E) ثابتة بالنسبة للزمن بينما (e) متغيرة مع الزمن .

ان كافة الكميات الفيزيائية يجب ان تقاس بنظام وحدات مناسب . والنظام المناسب للهندسة الكهربائية ومعظم العلوم الاخرى هو نظام الوحدات العالمي (SI) اي (System International d'unites)

ان نظام الـ (SI) هو نظام متري وسنأتي على وصفه في الفقرة 7-1 . من المفيد ان نشير هنا الى ان اسماء الوحدات يمكن اختصارها ايضا . حيث ان هناك رموز للوحدات يعود كل رمز منها الى كمية كهربائية . فعند تعريف كل كمية كهربائية سنعرف رمز وحدتها كالاتي :

الوحدة : فولت (V)

الرمز : E

القوة الدافعة الكهربائية

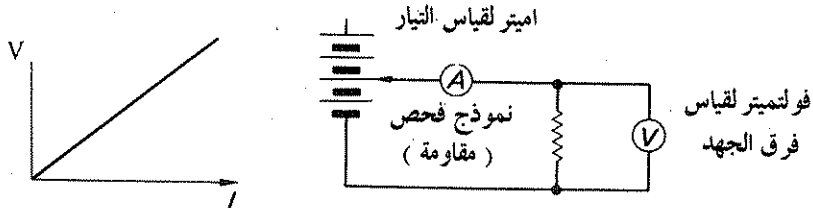
وبدا اعطيت الوحدة فولت مع مختصرها V وتستعمل الوحدات المختصرة بعد القيم الرقمية فقط مثلا (25V) . وبعكسه يستعمل الاسم كاملا فمثلا عدة فولتات كما ان الرمز يبقى نفسه في حالة المفرد والجمع مثلا (1V) و (5V) . ويجب ملاحظة عدم وضع نقطة بعد رمز الوحدة مع وضع فراغ بين الرقم ورمز الوحدة . وأخيراً يلاحظ ان بعض الاسماء تختصر مثلا القوة الدافعة الكهربائية تختصر بـ ق . د . ك . (e.m.f) وسيستعمل ذلك عند الحاجة باستمرار في هذا الكتاب .

6-1 مبدأ قانون اوم

في المناقشة السابقة حول الدائرة البسيطة نوقش التأثير الكهربائي بشكل عام . ولقد اتخذت احدي الخطوات المهمة في تحليل الدائرة من قبل العالم جورج اوم الذي وجد أن فرق الجهد عبر نهايتي عدد من الموصلات يتناسب مع التيار المار فيها ووجد كذلك ان هذا التناسب هو تناسب طردي طالما بقيت درجة الحرارة ثابتة . وحيث ان الرمز للتيار هو I فان هذه العلاقة يمكن صياغتها كما يلي :

$$V \propto I \quad (1.1)$$

العلاقة (1-1) هي التعبير الرياضي المسمى بقانون اوم . ولقد اجريت تجارب عملية بعدئذ اوضحت بجلاء وجود عوامل اخرى تؤثر في هذه العلاقة وبالحقيقة هناك عدد محدود من العمليات التوصيلية التي تعطي تناسبا طردياً بين فرق الجهد والتيار ، الا ان هذه العلاقة صحيحة لعدد كبير من الدوائر الكهربائية وانه من المناسب في هذه المرحلة الاولى ان نعتبر الدوائر التي تكون فيها العلاقة بين التيار والفولتية طردية . وان الخاصية المميزة لهذه الحالة موضحة في شكل 5-1 .



شكل 5-1 دائرة كهربائية والخواص المميزة التي تبين تغاير فرق الجهد مع التيار لها

ونظراً لأن التناسب قد اعتبر طردياً لذا فان :

$$\frac{V}{I} = R$$

حيث R هي مقدار ثابت يسمى مقاومة الموصل ويستعمل الخط المتعرج ليعبر عن المقاومة بالرسم كما في شكل 5-1 والمعادلة التي تحتوي على R في العادة تكتب بشكل :

$$V = IR$$

1-2

يجب ملاحظة ان هذه العلاقة مشتقة من قانون اوم وانها ليست تمثيل رمزي لهذا القانون . ان قانون اوم يبين العلاقة الثابتة بين فرق الجهد والتيار عند بقاء بقية العوامل الفيزيائية ثابتة أي أنه لفرق جهد معين يتغير التيار تبعاً لتغير العوامل الفيزيائية الخارجية .

7-1 الوحدات القياسية العالمية (SI)

استحدثت نظام الوحدات القياسية S.I العالمية في سنة 1960 وأقره عدد كبير من البلدان على انه النظام القانوني الوحيد للقياسات فيها . وهي الآن متعارف عليها في كافة انحاء العالم ومقبولة بصورة عامة من قبل كافة المهندسين الكهربائيين .

ان احدى الفوائد المهمة لهذا النظام بالمقارنة مع نظم الوحدات السابقة انه نظام متجانس تقريباً . حيث يقال عن النظام انه متجانس اذا كان حاصل ضرب او حاصل قسمة وحدتي أي كميتين مقاستين في النظام ينتج وحدة الكمية الناتجة فمثلاً وحدة المساحة تنتج عند ضرب وحدة الطول × وحدة الطول وكذلك تنتج وحدة القوة عند ضرب وحدة الكتلة في وحدة التعجيل .

في أي نظام قياسات هناك مقادير لبعض الكميات الفيزيائية التي يجب ان تختار اعتباطياً وتثبت قيم لوحداتها . وان هذه المقادير تؤول الى مجموعة من المعايير القياسية وتسمى الوحدات الأساسية .

لقد اختار نظام الـ (S.I.) ستة كميات فيزيائية كأساس له وهي :

الكتلة

الطول

الزمن

التيار الكهربائي

درجة الحرارة المطلقة

شدة الاستضاءة

أما بقية الوحدات الأخرى فمشتقة من هذه الوحدات ومرتبطة معها بتعاريف خاصة . وهنا يجب ان لا نفترض أن كافة العلاقات متجانسة تماما حيث تضاف بعض الثوابت في حالات خاصة . وقد قلصت هذه الحالات الى أقل حد ممكن . ففي الهندسة الكهربائية هناك كميتان من الضروري اضافتهما هنا هما الانفاذية (Permeability) والسماحية (Permittivity) للفراغ المطلق وسيعرفان في

الفصول 4 و 6 على التوالي .

لقد احتفظ نظام الـ S.I. بكافة فوائد النظام المترى السابق له حيث ان الوحدات بقيت مجمعة بمضاعفات او اجزاء عشرية واصطلاح على تسميات تضاف الى مقدمة الوحدة ولكل منها اختصار معين .

الرمز	البادئة	معامل الضرب
T	تيرا tera	10^{12}
G	جيجا giga	10^9
M	ميجا mega	10^6
k	كيلو kilo	10^3
m	ملي milli	10^{-3}
μ	ميكرو micro	10^{-6}
n	نانو nano	10^{-9}
p	بيكو pico	10^{-12}

لتفرض وجود فرق جهد يساوي 25 الف فولت حيث يمكن التعبير عنه بـ 25×10^3 فولت أو 25 كيلو فولت وإذا ما اختصرت الوحدة فان فرق الجهد هذا يعبر عنه بـ (25 kV) وأخيراً هناك بعض النقاط التي يجب ملاحظتها حول الجدول اعلاه :

- 1- يلاحظ ان كافة الكميات ذات الاس الموجب للعشرة بالحروف الكبيرة عدا رمز الكيلو k والذي يمكن هو الآخر أن يستعمل له K .
- 2- الحرف الاغريقي μ هو الحرف الوحيد المستعمل من دون الحروف اللاتينية لهذا الغرض .
- 3- هناك عامل ضرب (10^{-2}) والذي ابقى للاستعمال مع المترأي ستمتر .

8-1 الوحدات الاساسية لنظام S.I.

من بين الكميات الستة الأساسية نجد أن الكتلة والطول والزمن يمكن تعريفها بسهولة وما علينا الا اعطاء رموزها ووحداتها على النحو التالي :

الكتلة الرمز : m الوحدة : كيلوغرام (Kg)

وهنا يجب ان نلاحظ ان الطن هو وحدة كتلة أيضاً ويعادل مليون غرام .

الطول الرمز : l الوحدة : متر (m)

والستمتر هو وحدة اضافية لوحدات الطول الاعتيادية .

الزمن الرمز : t الوحدة : ثانية (s)

وبالرغم من ان أجزاء الثانية القياسية مستعملة فان مضاعفاتها عادة يستعاض عنها بالدقائق (min) والساعات (h) والايام (d) والسنين (a) .

من الكميات الأساسية الباقية نجد التيار الكهربائي ذا أهمية خاصة . ولكن قبل أن نأتي على تعريفه من الضروري أن نمر على بعض الوحدات المشتقة .

9.1 الوحدات المشتقة في نظام S.I.

بالرغم من أن الكميات الفيزيائية للمساحة والحجم والسرعة والتعجيل والسرعة الزاوية مفهومة بصورة عامة إلا أن وحداتها ورموزها تستحق الملاحظة :

المساحة	الرمز: A	الوحدة: متر مربع (m^2)
الحجم	الرمز: V	الوحدة: متر مكعب (m^3)
السرعة	الرمز: u	الوحدة: متر لكل ثانية (m/s)
التعجيل	الرمز: a	الوحدة: متر لكل ثانية تربيع (m/s^2)
السرعة الزاوية	الرمز: ω	الوحدة: زاوية نصف قطرية بالثانية (rad/s)

وتدعى وحدة القوة بالنيوتن وهي القوة التي اذا سلطت على جسم كتلته كيلوغرام واحد تعطيه تعجيلاً مقداره متر بالثانية تربيع .

القوة

الرمز: F

الوحدة: نيوتن (N)

$$F = ma$$

(1.3)

تدعى قوة التجاذب بين جسم ما والأرض بوزن الجسم . لذا يمكن الحصول على الوزن من الكتلة والتعجيل الأرضي ($9.81 m/s^2$) وعلية فان وزن كيلوغرام واحد ($kg f$) يساوي $9.81 N$ (نيوتن) . تدعى وحدة الطاقة بالجول وهي الشغل المصروف عند ازاحة نقطة تأثير قوة مقدارها نيوتن واحد مسافة متر واحد باتجاه القوة .

الشغل أو الطاقة

الرمز: W

الوحدة: جول (J)

$$W = Fl$$

(1.4)

لاحظ بأن الطاقة هي القابلة لعمل شغل . لذا فان كلاً من الطاقة والشغل تقاسان بنفس الوحدات تدعى وحدة العزم (Torque) نيوتن متر وهي حاصل ضرب قوة مقدارها نيوتن واحد في مسافة متعامدة معها مقدارها متر واحد بين نقطة تأثير القوة ومحور الدوران .

العزم

الرمز: M أو T

الوحدة: نيوتن متر (N.m)

إذا كانت المسافة العمودية من خط تأثير القوة الى محور الدوران تساوي (r) فان :

$$T = Fr \quad (1.5)$$

يستعمل الرمز M لعزم دوران المكائن الكهربائية وسيستعمل بكثرة في الفصول 12؛ 13؛ 14. لاحظ بأن وحدة العزم هي حاصل ضرب وحدتين أخريين وعليه فإن مختصرات الرموز توضع سوياً مع فاصل بينهما كلما احتجنا إلى استحداث كمية ناتجة من حاصل ضرب كميتين كما مبين أعلاه. القدرة هي معدل إنجاز الشغل ووحدتها تدعى الواط وتساوي جول واحد بالثانية.

القدرة الرمز: P الوحدة: واط W

$$P = \frac{W}{t}$$

$$= F \cdot \frac{l}{t} \quad (1.6)$$

$$P = Fu \quad (1.7)$$

وفي حالة المكائن الكهربائية الدوارة .

$$P = Mw \quad (1.8)$$

هناك وحدة أخرى للطاقة مستعملة تجارياً ألا وهي الكيلوواط-ساعة kWh وهي تمثل الشغل المنجز بمعدل كيلوواط واحد لفترة ساعة واحدة .

$$\begin{aligned} 1 \text{ kWh} &= 1000 \text{ Wh} \\ &= 1000 \times 60 \text{ W min} \\ &= 1000 \times 60 \times 60 \text{ W s} \end{aligned}$$

وحيث ان العمل بمعدل واط واحد لفترة ثانية واحدة ينتج جولاً واحداً من الشغل لذا

$$\begin{aligned} &= 1000 \times 60 \times 60 \text{ J} \\ &= 3.6 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

ومما يجب ملاحظته عند تحويل الطاقة في جهاز ما ان بعض الطاقة الداخلة تستهلك في تشغيل الجهاز لذا تعرف كفاءة التشغيل بأنها

$$\frac{W_o}{W_{in}} = \frac{\text{الطاقة الخارجة في وقت معين}}{\text{الطاقة الداخلة في نفس الوقت}} = \text{الكفاءة}$$

$$\frac{P_o}{P_{in}} = \frac{\text{القدرة الخارجة}}{\text{القدرة الداخلة}} =$$

الكفاءة الرمز : η الوحدة : بلا

مثال 1-1 محطة توليد تعطي طاقة خارجة مقدارها 280 ميكاواط ساعة يومياً وتستهلك 500 طن من الفحم في تشغيلها . اذا علم ان الفحم يحترق 7 ميكا جول لكل كيلو غرام من الفحم عند احتراقه . احسب الكفاءة العامة للمحطة .

$$W_{in} = 7 \times 10^6 \times 500 \times 1000 \quad \text{الطاقة الداخلة في اليوم الواحد}$$

$$= 35.0 \times 10^{11} \text{ J}$$

$$W_o = 280 \text{ MWh} \quad \text{الطاقة الخارجة في اليوم الواحد}$$

$$= 280 \times 10^6 \times 3.6 \times 10^3$$

$$= 10.1 \times 10^{11} \text{ J}$$

$$\eta = \frac{W_o}{W_{in}}$$

$$= \frac{10.1 \times 10^{11}}{35.0 \times 10^{11}}$$

$$= 0.288$$

مثال 2-1 مصعد كهربائي كتلته 250 كيلو غرام يرتفع بسرعة 5 متر بالثانية فاذا كانت كفاءة محرك

المصعد تساوي 0.85 . احسب القدرة الداخلة الى المحرك .

$$F = mg = 250 \times 9.81 \quad \text{وزن المصعد}$$

$$= 2452 \text{ N}$$

$$P_o = Fu = 2452 \times 5 \quad \text{القدرة الخارجة من المحرك}$$

$$= 12260 \text{ W}$$

$$P_{in} = \frac{P_o}{\eta} \quad \text{القدرة الداخلة للمحرك}$$

$$= \frac{12260}{0.85}$$

$$= 14450 \text{ W}$$

$$= 14.45 \text{ kW}$$

إذا ما رجعنا الى الكميات الكهربائية نجد من الضروري تعريف الكمية الأساسية المختارة الا وهي التيار الكهربائي . وبدءاً من هذه النقطة يمكن تعريف كافة الكميات الكهربائية الاخرى . تدعى وحدة التيار الكهربائي بالأمبير وهي مقدار التيار المار في كل من موصلين متوازيين تكون المسافة بينهما متر واحد وموضوعين في الفراغ وطولهما لا نهائي اذا سبب قوة بين الموصلين تساوي 2×10^{-7} نيوتن لكل متر من الطول .

التيار الرمز : I الوحدة : أمبير (A)

ان هذا التعريف معقد نوعاً ما ولكن باستعمال هكذا تعريف تكتسب معظم الوحدات الكهربائية مقاديراً ملائمة ولذا فان الرقم 2×10^{-7} هو رقم مناسب للتعريف السابق وسيتم توضيحه مفصلاً في الفقرة 7.4 . تدعى وحدة الشحنة الكهربائية بالكولوم (Coulomb) وهي كمية الكهرباء المنقولة في ثانية واحدة بواسطة تيار مقداره أمبير واحد .

الشحنة الرمز : Q الوحدة : كولوم (C)

$$Q = It \quad (1.9)$$

تدعى وحدة الجهد الكهربائي بالفولت وهي فرق الجهد بين نقطتين على سلك موصل يحمل تياراً ثابتاً مقداره امبير واحد حينما يستهلك قدرة بين النقطتين مقدارها واط واحد .

الجهد الكهربائي الرمز : V الوحدة: فولت (V)

يلاحظ بان الحرف (V) يستعمل كرمز وكوحدة لفرق الجهد . القوة الدافعة الكهربائية يرمز لها (E) أما وحدتها فهي نفس وحدة فرق الجهد . ونظراً لأن فرق الجهد يقاس بالفولت فانه يدعى احياناً بهبوط الفولت او الفولتية . ويمكن عملياً تبيان العلاقة العائدة للتعريف كما يلي :

$$V = \frac{P}{I} \quad (1.10)$$

ومن الأفضل كتابة هذه العلاقة

$$P = VI \quad (1.10.1)$$

كما ينتج كذلك

$$\begin{aligned} V &= \frac{P}{I} \\ &= \frac{W}{t} \cdot \frac{t}{Q} \\ &= \frac{W}{Q} \end{aligned}$$

استخدمت الكميات العددية أثناء الشرح بما يتفق مع نسق المعادلات أي من اليسار الى اليمين بعكس وضعها باللغة العربية أي يسار الرقم

ويعني ذلك أن فرق الجهد يساوي الطاقة لكل وحدة شحنة ، وبهذه الطريقة يكون التعريف ذا علاقة بالقوة الدافعة الكهربائية أو فرق الجهد المذكورين سابقاً .
تقاس المقاومة الكهربائية بالأوم وتعرف وحدة المقاومة بأنها المقاومة بين نقطتين على موصل حينما يسلب بينهما فرق جهد مقداره فولت واحد منتجاً تياراً في الموصل مقداره امبير واحد شرط ان لا يكون الموصل نفسه مصدراً لأي قوة دافعة كهربائية .

المقاومة الكهربائية R: الرمز الوحدة أوم (Ω)

لقد اوضحت الاثباتات العملية أن .

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.2)$$

لاحظ أن :

$$\begin{aligned} P &= VI \\ &= (IR)I \\ &= I^2 R \end{aligned} \quad (1.11)$$

مثال 1-3 محرك يعطي قدرة خارجة مقدارها 20 كيلوواط ويعمل بكفاءة مقدارها 0.80 اذا كانت فلتية الادخال ثابتة و تساوي 200 فولت . ما مقدار تيار التجهيز الثابت ؟

$$\begin{aligned} P_0 &= 20000 \text{ W} \\ P_{in} &= \frac{P_0}{\eta} = \frac{20000}{0.8} \\ &= 25000 \text{ W} \\ &= VI \\ I &= \frac{25000}{200} = 125 \text{ A} \end{aligned}$$

7-1 قطار كتلته 200 طن يقابل ربحاً مقاومتها مكافئة لـ 60 نيوتن لكل طن اذا كانت كفاءة محرك التشغيل تساوي 0.87 . وتكلف الطاقة الكهربائية بالعملة الانكليزية للكيلوواط - ساعة الواحدة نصف بيبي (P) ، ما كلفة الطاقة المطلوبة لتسيير القطار مسافة كيلو متر واحد ؟
واذا جهز القطار بفولتية ثابتة مقدارها 1.5 كيلو فولت ويسير بسرعة 80 كيلو متر في الساعة ، ما مقدار التيار المحيظ ؟

عند الحركة كيلو متر واحد

$$\begin{aligned} W_0 &= FI \\ &= 200 \times 60 \times 1000 = 12 \times 10^6 \text{ J} \\ W_{in} &= \frac{W_0}{\eta} = \frac{12 \times 10^6}{0.87} = 14.4 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

• البيبي بالعملة الانكليزية يعادل 5 فلوس تقريباً بالعملة العراقية

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J, hence}$$

$$W_{in} = \frac{14.4 \times 10^6}{3.6 \times 10^6} = 4.0 \text{ kWh}$$

ولكن

لذا

$$0.5 \times 4.0 = 2.0 \text{ p}$$

كلفت الطاقة تساوي

$$= 14.4 \times 10^6 \times 80 \text{ J}$$

الشغل المنجز في ساعة واحدة عند الحركة بسرعة 80 كيلومتر بالساعة

$$= \frac{14.4 \times 10^6 \times 80}{3600}$$

الشغل المنجز في ثانية والذي يساوي القدرة الداخلة .

$$= 32 \times 10^4 \text{ W}$$

$$= P_{in}$$

$$P_{in} = VI$$

ولكن :

$$I = \frac{P_{in}}{V} = \frac{32 \times 10^4}{1.5 \times 10^3}$$

$$= 214 \text{ A}$$

يجب أن نذكر كذلك ان قياس درجة الحرارة يتم بالقياس المتوي (Celsius Scale) كما تقاس درجة الحرارة المطلقة بالدرجات كلفن (Kelvin) . ولكن لمعظم الأغراض الكهربائية في هذه المرحلة الأولية يكفي قياس درجة الحرارة بالقياس المتوي . وسنعود الى المقياس المطلق لدرجة الحرارة في الفصل 13
مما يجب تذكره ان درجات الحرارة في كل من القياسين متساوية الا ان الفرق هو في موقع درجة الصفر .

الوحدة : درجة مئوية (C°)

الرمز : θ

درجة الحرارة

هناك ثابت تجدر الإشارة اليه وهو الحاجة الى 4185 جول لرفع درجة حرارة لتر واحد من الماء درجة مئوية واحدة .

مثال 5-1 سخان كهربائي يحوي 40 لتر من الماء في درجة حرارة ابتدائية مقدارها 15* . اذا جهز السخان الماء بـ 0.25 كيلوواط ساعة . اوجد درجة الحرارة النهائية للماء على فرض عدم وجود ضياع في الحرارة

$$W_{in} = 0.25 \times 3.6 \times 10^6 = 9 \times 10^6 \text{ J}$$

الطاقة المطلوبة لرفع درجة حرارة 40 لتر من الماء درجة مئوية واحدة .

$$= 40 \times 4185 \text{ J}$$

استخدمت إشارة الدرجة الى اليمين الرقم لما يتفق مع المعادلات أي بعكس وضعها باللغة العربية .

(المترجمان)

لذا يكون التغيير في درجة الحرارة

$$\Delta\theta = \frac{9 \times 10^6}{40 \times 4185}$$

$$= 53.8^\circ\text{C}$$

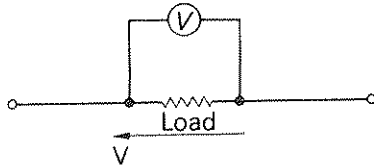
$$\theta_2 = \theta_1 + \Delta\theta = 15 + 53.8$$

$$= \underline{68.8^\circ\text{C}}$$

10.1 دراسة الدائرة

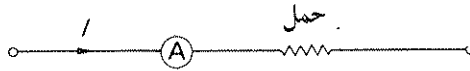
عند دراسة الدائرة المبينة في شكل 5.1 اشير الى جهازين سمييا بالفولتميتر والاميتر وسيمر بنا في الفصل 17 وصف مباديء عمل اجهزة القياس هذه الا انه تجدر الاشارة هنا الى ما يلي :

1 - الفولتميتر هو جهاز لقياس القوة الدافعة الكهربائية أو فرق الجهد ويربط بين النقطتين المطلوبتين في الدائرة كما في الشكل 6.1



شكل 6.1 ربط الفولتميتر

2 - الاميتر هو جهاز لقياس التيار ويربط ضمن الموصل لكي يسره جميع التيار كما مبين في شكل 7.1



شكل 7.1 ربط الاميتر

ويمكن ان نفترض الآن ان كلا من الفولتميتر والاميتر متالبيين من حيث اضافتهما الى الدائرة دون احداث تغيير فيها مع اعطائهما الكميات المطلوب قياسها .

مسائل على مدخل الى الكميات الكهربائية

1 - اكمل الجدول التالي :

V	I	R
10 V	5 A	
	20 A	0.1 Ω
8 V		2 Ω
12 V		3.3 kΩ
2 V	50 μA	
	15 mA	6 kΩ
	2 Ω; 2 V; 4 A; 3.64 mA; 40 MΩ; 90 V	

2- اشرح التعابير التالية بالرجوع الى الدائرة الكهربائية الاساسية

أ- المصدر

ب- وحدة الحمل

ج- منظومة النقل

د- جهاز السيطرة

اوصف تجربة تستخدم لغرض توضيح قانون اوم . وبين علاقة الاجهزة المستعملة بالكميات الاربعة المبينة اعلاه .

3- المعطيات المبينة ادناه مستخلصة من قياس خاصية الفولتية - التيار لمصباح

(V)	100	150	200	250
(A)	0.12	0.19	0.28	0.40

احسب مقاومة المصباح في كل حالة وعقب على ظاهرة عدم تجانس المقاومة .

4- محرك تيار مستمر يعمل على 500 فولت ذو كفاءة 0.95 يشغل مضخة كفاءتها 0.80 ترفع 1200 متر مكعب من الماء بالساعة على ارتفاع 25 متر . احسب التيار الداخل للمحرك علما بان كتلة المتر المكعب من الماء تساوي 1000 كيلو غرام .

215A

5- محطة توليد كهرومائية تجهز من خزان سعته 20 مليون متر مكعب على ارتفاع 200 متر . فاذا علمت ان الكفاءة الهيدروليكية للمحطة تساوي 0.8 والكفاءة الكهربائية تساوي 0.90 مامقدار الطاقة الكلية المتوفرة ؟

7.85GWh

6- مساحة الخزان المشروح اعلاه في المسألة الخامسة تساوي 3 كيلومترات مربعة . يجهز الخزان حملا مقداره 12 ميكا واط لمدة ثلاثة ساعات احسب الانخفاض في منسوب الخزان خلال هذه الفترة

30.5mm

7- اذا كان الخزان المشروح في المسألة الخامسة اعلاه يجهز من نهر يجري بمعدل 2 متر مكعب في الثانية مع ثبات الارتفاع والكفاءات . مامقدار ما يكافيء الجريان من قنطرة (بالمليكاواط) والطاقة باليوم (ميكا واط ساعة باليوم) والطاقة بالسنة (جيكا واط ساعة بالسنة) .

2.83MW, 68MWh/d, 24.8GWh/a

8- فاطرة تعمل على 1500 فولت تيار مستمر . تجر حملا كتلته 100 طن بسرعة 50 كيلومتر بالساعة . اذا علمت ان مقاومة الحمل لعملية الجر تساوي 50 نيوتن للطن وان كفاءة المحرك 0.90 وان القطار يسير على سكة مستوية . احسب التيار المجهز للفاطرة .

51.4A

9. محرك يعمل على التيار المستمر بفولتيه مقدارها 460 فولت يشغل رافعة ترفع حملا كتلته 100 كيلو غرام بسرعة 15 متر بالثانية . احسب :
أ- القدرة الخارجة للمحرك على فرض أن كفاءة مبادل السرعة للرافعة تساوي 0.8
ب تيار المحرك على فرض أن كفاءة المحرك 0.75

18.4kW, 53.2A

10. محطة قدرة سعتها 400 ميكا واط وكفاءتها الكلية 0.31 تجهز بالفحم بمقدار 200 طن بالساعة . ماهي اقل قيمة ممكنة لطاقة الفحم بالجوول لكل كيلو غرام ؟ اذا فرضنا ان المحطة تعمل بكامل حملها باستمرار .
23.2MJ/kg

الفصل الثاني

دوائر التيار المستمر

سبق توضيح مفهوم المقاومة ولكن نادراً ما تظهر المقاومة في الدائرة الكهربائية بشكلها الاعتيادي البسيط . وبدلاً من ذلك تظهر تشكيلات معقدة تدعى الشبكات (Networks) . ولأجل تحليل هذه الشبكات يتحتم النظر في العوامل الفيزيائية التي تؤثر في المقاومة .

1-2 التوصيلية (Conductance) في الدوائر
لوحظ ان المقاومة هي النسبة بين فرق الجهد والتيار وهذه العلاقة مشتقة من :

$$V = IR$$

وعند تمحيص هذا المقدار يتبين بأن هناك تأكيداً على فرق الجهد ، وهذا أقرب للواقع لأن أكثر أنظمة التجهيز الكهربائية تعرف بفولتية التجهيز . ولكن عند تحليل بعض الشبكات وبالأخص الشبكات الالكترونية يكون التعريف أكثر وضوحاً بالتأكيد على التيار كما يلي :

$$I = \frac{V}{R}$$

ان صيغة $1/R$ هي مقلوب المقاومة ومن الصعوبة بمكان استعمالها بهذه الصيغة لذا تسمى بالتوصيلية

الوحدة : سيمنس (S)

الرمز : G

التوصيلية

ومن التعريف أعلاه يكون

$$G = \frac{1}{R} \quad (2.1)$$

وعليه فان :

$$I = VG \quad (2.2)$$

وهنا يجدر بنا التعميق على أن الدائرة ذات المقاومة العالية هي دائرة ذات توصيلية واطئة والعكس بالعكس ، علماً بأن وحدة التوصيلية هي التوصيلية المقاسة بين نقطتين على موصل (conductor) واللتين

إذا ما سُلط فرق جهد ثابت مقداره فولت واحد بينهما فإنه يولد تياراً مقداره أمبير واحد في الموصل شرط أن لا يكون الموصل نفسه مصدراً للقوة الدافعة الكهربائية . ومن هذا يتبين أن الموصل الذي مقاومته وحده واحدة تكون موصليته وحدة واحدة أيضاً . وأن كلاً من المقاومة والتوصيلية سيستعملان لتحديد العلاقة بين الفولتية والتيار عند تحليل الدوائر .

2-2 قانونا كرشوف (Kirchhoff's Laws)

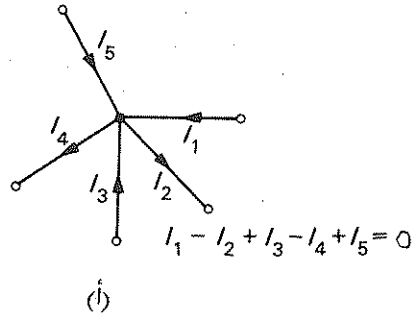
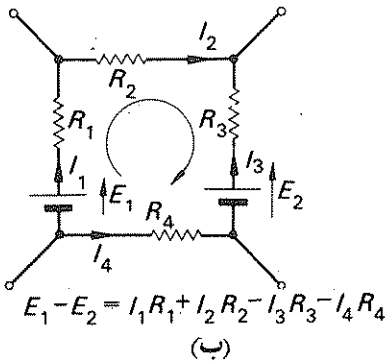
لاحظ غوستاف كرشوف الفيزيائي الألماني ظاهرتين أساسيتين لتحليل الشبكات الكهربائية والتيين يمكن صياغتهما كالآتي :

القانون الأول (قانون التيار)

المجموع الجبري للتيارات في أي لحظة في مفترق* (Junction) ما لشبكة كهربائية يساوي صفراً . وعند تطبيق ذلك يجب استخدام اشارات مختلفة لاتجاهات التيارات المتجهة نحو المفترق والمبتعدة عنه .

القانون الثاني (قانون الفولتية) :

في حلقة مغلقة او دارة (Loop) يكون المجموع الجبري للقوى الدافعة الكهربائية المؤثرة حول الدارة في أي لحظة مساوياً للمجموع الجبري لهبوطات الجهد حول الدارة . مما جاء اعلاه يتبين بأن مفهوم القانونين صعب التصور وسنستعين بالشكل 1-2 لتبسيط هذا التعريف . ففي الشكل 1-2 أ اعتبر التيارات المتجهة نحو المفترق موجبة بينما اعتبرت التيارات المبتعدة عن المفترق سالبة . ولوانا اتفقنا عكس ذلك لبقيت العلاقة الجبرية كما هي لان هذا الاجراء يشبه عملية ضرب جميع حدود المعادلة بـ (1) - .



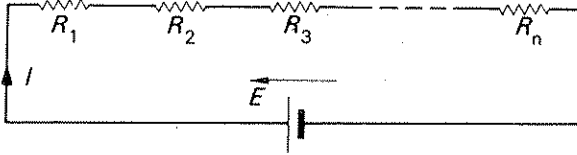
شكل 1-2 قانوني كرشوف (أ) القانون الأول (التيار) (ب) القانون الثاني (الفولتية)

* قد يكون من المناسب ترجمة (Junction) في الدوائر بكلمة مفترق وفي انصاف الموصلات بكلمة ملتقى كما سلاحظ فيما بعد . (المترجمان)

وفي الشكل 1-2 ب نجد بأن مجموع القوى الدافعة الكهربائية ϵ ϵ ϵ ك ϵ يساوي $E_1 - E_2$ حيث ان E_1 تعمل على امرار التيار بالاتجاه المختار في الدائرة لذا تعتبر موجبة بينما E_2 تعاكس سريان التيار لذا تعتبر سالبة . ان هبوطات الفولتية تعتمد على التيارات التي حددت اتجاهاتها بطريقة عشوائية لذا فهبوطات الفولتية الناتجة من سريان التيار في الاتجاه المختار تعتبر موجبة والعكس بالعكس .
لذا يكون كل من $I_1 R_1$ و $I_2 R_2$ موجبا بينما $I_3 R_3$ و $I_4 R_4$ سالبا . ويمكن توضيح مضمون كلا القانونين بشكل منطقي . فمثلا اذا كان التيار المتجه نحو المفتح أكثر من التيار الخارج من المفتح بالنسبة للقانون الأول فانه ينتج وبسرعة تجمع في الشحنة داخل المفتح وهذا غير ممكن . واما في القانون الثاني فان الالكترونات المار حول الدائرة سيغير مستوى طاقته ولكنه يجب أن يعود الى نفس المستوى من الطاقة عند وصوله نقطة البداية .

3-2 المقاومات على التوالي (Series) وعلى التوازي (Parallel)

المقاوم هو أداة مصممة ليكون له مقاومة ذات قيمة معينة . واذا ما ربط عدد من هذه المقاومات بشكل ما بحيث يسري نفس التيار في كل منها . فان مثل هذا الربط يدعى بالربط على التوالي . يبين الشكل 2-2 مثل هذا الوضع لمقاومات مربوطة على التوالي مع مصدر ق . ك ϵ .
من تطبيق قانون كرشوف الثاني على الدائرة في الشكل 2-2



شكل 2-2 مقاومات على التوالي

$$E = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots + IR_n$$

واذا ما رمز للمقاومة الكلية للمقاومات المربوطة على التوالي بالرمز R فان :

$$E = IR$$

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots + IR_n$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad (2.3)$$

تبين العلاقة (2-3) ان المقاومة المكافئة لأي عدد من المقاومات المربوطة على التوالي يساوي مجموع

هذه المقاومات منفردة . وهناك حالة شائعة ومهمة وهي حالة ربط مقاومتين على التوالي والتي ينتج عنها تقسيم الفولتية المسلطة للمقاومتين R_1 و R_2 فنجد أن :

$$R = R_1 + R_2$$

$$I = \frac{V}{R}$$

$$= \frac{V}{R_1 + R_2}$$

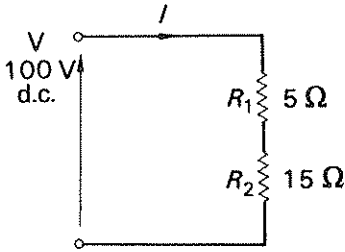
ان هبوط الفولتية عبر R_1 سيكون :

$$V_1 = IR_1$$

$$= \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V \quad (2.4)$$

لذا فان تقسيم الفولتية يعتمد على قيم المقاومتين ويمكن حسابه من العلاقة اعلاه دون الرجوع الى حساب التيار .

مثال (1.2) : للدائرة المبينة في الشكل 3.2 احسب فرق الجهد عبر المقاوم 5Ω والقدره المجهزه الى الدائرة .



شكل 3.2

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V = \frac{5}{5 + 15} \cdot 100 = \underline{25 V}$$

$$R = R_1 + R_2 = 5 + 15 = 20 \Omega$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{100}{20} = 5 A$$

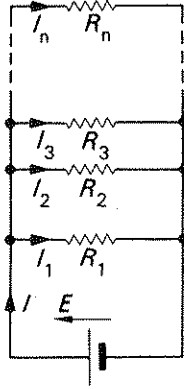
$$P = VI = 100 \times 5 = \underline{500 W}$$

اذا ربط عدد من المقاومات بشكل ما بحيث ان فرق الجهد عبر أي منها متساو قيل عن هذا الربط انه على التوازي . ويبين الشكل 4.2 مثل هذا الترتيب .

وعند تطبيق قانون كرشوف الأول على الدائرة المبينة في الشكل 4-2

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

وإذا ما رمزنا للمقاومة المكافئة لهذه المقاومات المربوطة على التوازي بالرمز R فإن العلاقة اعلاه تصبح :



شكل 4-2 مقاومات على التوازي

$$\frac{E}{R} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3} + \dots + \frac{E}{R_n} \quad (2.5)$$

$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

تبين العلاقة (2.5) ان مقلوب المقاومة المكافئة لأي عدد من المقاومات المربوطة على التوازي يساوي مجموع مقلوبات تلك المقاومات . كما يمكن صياغة ذلك بشكل اوضح باستعمال رموز التوصيلية :

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n \quad (2.6)$$

ونظراً لكثرة استعمال مقاومتين على التوازي فان :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

$$\therefore R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.7)$$

فعند ربط مقاومتين R_1 و R_2 على التوازي تكون التيارات المارة فيهما I_1 و I_2 على التعاقب والتيار الكلي I فان

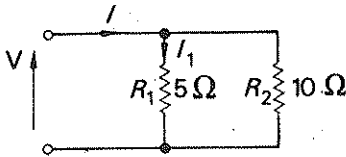
$$E = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I \times \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\therefore I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad (2.8)$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \quad (2.8.1)$$

وهذه العلاقة التي تعبر عن توزيع التيار بين ممرين متوازيين لا تستدعي حساب فرق الجهد . فهي شائعة الاستعمال لأنها تختصر العمل عند تحليل الشبكات الكهربائية . وهنا يجب ان ننبه القارئ بان هذه العلاقة لا تنطبق الا في حالة مقاومتين مربوطين على التوازي فقط .

مثال (2.2) : للشبكة المبينة في الشكل 5.2 احسب تيار التجهيز I اذا كانت المقاومة R_1 تستهلك طاقة بمعدل 20 واط .



شكل 5-2 شبكة المثال 2.2

$$P_1 = I_1^2 R_1$$

$$\therefore I_1 = \left(\frac{P_1}{R_1} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{20}{5} \right)^{\frac{1}{2}} = 2 \text{ A}$$

$$= \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$\therefore I = \frac{R_1 + R_2}{R_2} I_1 = \frac{5 + 10}{10} \times 2 = 3 \text{ A}$$

4.2 التوصيف برموز سفلية مزدوجة (Double Subscript)

يبين الشكل 6.2 مقاوم مربوط بين القطبتين A و B في الدائرة لذا يرمز لفرق الجهد بين A و B بـ V_{AB} والذي يعني جهد النقطة A بالنسبة الى B . واذا افترضنا ان التيار يمر في الاتجاه المبين فان جهد النقطة A يجب أن يكون موجبا بالنسبة للنقطة B . لذا فان V_{AB} تكون موجبة . وبنفس الطريقة تكون V_{BA} هي جهد النقطة B بالنسبة الى النقطة A والتي تساوي V_{AB} ولكن باشارة معكوسة .

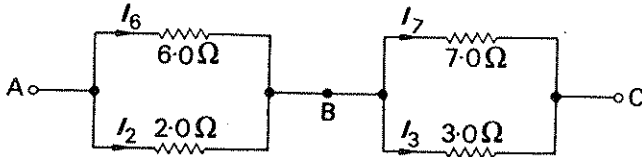


شكل 6.2 التوصيف برموز سفلية مزدوجة

اي أن

$$V_{BA} = -V_{AB}$$

ان هذا النظام يسمى التوصيف برموز سفلية مزدوجة والذي سيعمل من الآن فصاعداً .
 اذا ما عرفنا تياراً ما بـ V_{AB} بأنه موجب على فرض ان R_{AB} هي المقاومة بين A و B فان ذلك يشير
 الى ان اتجاه التيار هو من A الى B واذا ما كان سالبا فان اتجاه التيار يكون من B الى A .



شكل 7:2 شبكة المثال 3:2

مثال (3:2) : للشبكة المبينة في الشكل 7:2 يوجد فرق الجهد بين A و C هو 10 فولت .
 احسب التيار في كل مقاومة .

$$R_{AB} = \frac{6.0 \times 2.0}{6.0 + 2.0} = 1.5 \Omega$$

$$R_{BC} = \frac{7.0 \times 3.0}{7.0 + 3.0} = 2.1 \Omega$$

$$R_{AC} = R_{AB} + R_{BC} = 1.5 + 2.1 = 3.6 \Omega$$

$$\therefore I_{AC} = \frac{V_{AC}}{R_{AC}} = \frac{10}{3.6} = 2.8 \text{ A}$$

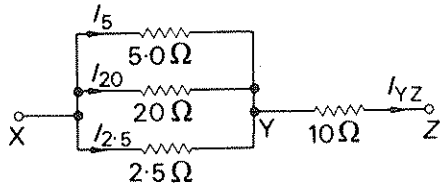
$$\therefore I_6 = \frac{2.0}{6.0 + 2.0} \times 2.8 = \underline{0.7 \text{ A}}$$

$$I_2 = I_{AC} - I_6 = 2.8 - 0.7 = 2.1 \text{ A}$$

$$I_7 = \frac{3.0}{7.0 + 3.0} \times 2.8 = \underline{0.8 \text{ A}}$$

$$I_3 = I_{AC} - I_7 = 2.8 - 0.8 = \underline{2.0 \text{ A}}$$

مثال (4:2) : للشبكة المبينة في الشكل 8:2 كانت القدرة المصروفة في المقاومة 5 أوم تساوي 20 واط . احسب : أ- التيار في المقاوم 10 أوم ب- فرق الجهد بين X و Z ج- القدرة الكلية المصروفة .



شكل 8-2 شبكة المثال 4-2

$$P = \frac{V_{XY}^2}{R_5} = \frac{V_{XY}^2}{5} = 20$$

$$\therefore V_{XY} = 10 \text{ V}$$

$$I_5 = \frac{V_{XY}}{R_5} = \frac{10}{5} = 2.0 \text{ A}$$

$$I_{20} = \frac{V_{XY}}{R_{20}} = \frac{10}{20} = 0.5 \text{ A}$$

$$I_{2.5} = \frac{V_{XY}}{R_{2.5}} = \frac{10}{2.5} = 4.0 \text{ A}$$

$$\therefore I_{XY} = I_5 + I_{20} + I_{2.5} = 2.0 + 0.5 + 4.0 = 6.5 \text{ A}$$

$$= I_{YZ}$$

$$V_{YZ} = I_{YZ} R_{YZ} = 6.5 \times 10 = 65 \text{ V}$$

$$V_{XZ} = V_{XY} + V_{YZ} = 10 + 65 = 75 \text{ V}$$

$$P = V_{XZ} I_{XZ} = 75 \times 6.5 = 488 \text{ W}$$

5-2 المقاومة (Resistivity) والموصلية (Conductivity)

يمكن ان نبين تجريبيا ان مقاومة اي قطعة من مادة ما تعتمد على :

أ - طولها

ب - مساحة مقطعها العرضي

ج - الشبكة

د - الظروف الفيزيائية المحيطة كدرجة الحرارة مثلا

فاذا ما اهملنا الظروف الفيزيائية المحيطة فانه بالامكان تبيان ان المقاومة تتناسب طردياً مع طول مادة الموصل وعكسياً مع مساحة مقطعها العرضي .

$$R \propto \frac{l}{A}$$

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (2.9)$$

حيث ان ρ هو ثابت التناسب الملائم للمادة في الظروف المحيطة وتسمى بمقاومية المادة .

الوحدة: أوم - متر (Ωm)

الرمز: ρ

المقاومية

من العلاقة (2-9) في حالة كون الطول l يساوي متر واحد ومساحة المقطع العرضي تساوي متر مربع واحد فان $R = \rho$ اي أن المقاومة للمادة تساوي عددياً المقاومة مقاسة بين وجهين متقابلين في متر مكعب واحد من المادة .
اما الموصلية للمادة γ فهي مقلوب المقاومة .

الوحدة: سيمنس لكل متر (S/m)

الرمز: (γ)

الموصلية

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (2.10)$$

لذا

$$R = \frac{l}{\gamma A} \quad (2.11)$$

كذلك

$$G = \frac{\gamma A}{l} \quad (2.11.1)$$

مثال (5-2) : سلك من النحاس طوله 100 متر وقطره 1 ملم . اذا علمت ان مقاومة النحاس تساوي 0.0159 ميكرواوم متر فمما مقاومة السلك ؟

$$A = \pi r^2 = \pi \times 0.5^2 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{1.59 \times 10^{-8} \times 10^2}{\pi \times 0.5^2 \times 10^{-6}}$$

$$= 2.02 \Omega$$

مثال (6-2) : سلك من النحاس مربوط على التوازي مع سلك من الالمنيوم ذي طول يساوي ضعف طول السلك الاول . فاذا علمت ان مقاومة النحاس تساوي 0.0159 ميكرواوم متر ومقاومية الالمنيوم 0.0254 ميكرواوم متر وكان قطر الموصل المصنوع من الالمنيوم 10 ملم ، احسب قطر الموصل النحاسي لكي يحمل كل من السلكين نفس الكمية من التيار .

نفرض ان طول الموصل المصنوع من الالمنيوم يساوي l وان مقاومته هي R_c ومقاومة الموصل النحاسي R_c

$$R_a = \frac{\rho l}{A_a} = \frac{2.54 \times 10^{-8} \times l}{\pi \times 5^2 \times 10^{-6}}$$

$$R_c = \frac{1.59 \times 10^{-8} \times 0.5 l}{\pi r^2}$$

ولكي يكون التياران متساويين فان :

$$R_a = R_c$$

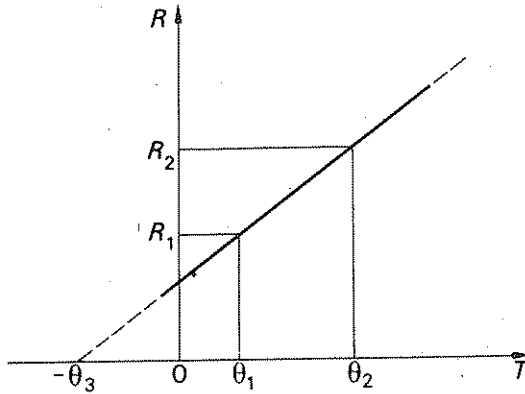
$$r^2 = \frac{5^2 \times 10^{-6} \times 1.59 \times 0.5}{2.54}$$

$$r = 2.8 \times 10^{-3} \text{ m} = 2.8 \text{ mm}$$

$$\therefore d = \underline{5.6 \text{ mm}}$$

6.2 معامل درجة الحرارة للمقاومة (Temperature Coefficient)

سوف نبين في الفقرة 5.13 ان مقاومة المواد تتغير مع درجة الحرارة ، حيث تزداد لبعض المواد (كالمعادن مثلا) مع زيادة درجة الحرارة بينما تقل لمواد أخرى كانصاف الموصلات (Semi-conductors) وبعض العوازل (Insulators) مع زيادة درجة الحرارة. وعلى أي حال فان المقاومة هي دالة معقدة بالنسبة لدرجة الحرارة ، الا انها في درجات الحرارة الاعتيادية بالامكان تقرب العلاقة الى علاقة خطية كالمبينة في الشكل 9.2



شكل 9.2 تباير المقاومة مع درجة الحرارة

لغرض تخمين مقدار التغير للمقاومة او القيم الجديدة بعد تغير درجة الحرارة فانه يجب ادخال معامل هو معامل درجة الحرارة للمقاومة والذي يعرف بأنه التغير في المقاومة لكل درجة حرارة كلفن معبراً عنه ككسر من المقاومة في درجة الحرارة المعتبرة .

الوحدة: لكل كلفن (1/K)

الرمز: α

معامل درجة الحرارة

من الشكل 9-2 نجد ان معامل درجة الحرارة للمقاومة α_1 في درجة حرارة θ_1 يكون :

$$\alpha_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_2 - \theta_1}} \quad (2.12)$$

وبنفس الطريقة في درجة حرارة θ_2

$$\alpha_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_2 \frac{\theta_2 - \theta_1}{\theta_2 - \theta_1}} \quad (2.12.1)$$

وباعادة كتابة المعادلة (2.12) ينتج

$$\begin{aligned} \alpha_1 R_1 (\theta_2 - \theta_1) &= R_2 - R_1 \\ \therefore R_2 &= R_1 [1 + \alpha_1 (\theta_2 - \theta_1)] \end{aligned} \quad (2.13)$$

ليس من الممكن دائما إيجاد α بدون حسابات اضافية . لذا فانه من الاعتيادي أن تعطى قيمة معامل درجة الحرارة في درجة مرجعية معينة - عادة درجة الصفر المتوية . فإذا كانت R_0 هي المقاومة في درجة الحرارة المرجعية .

$$\begin{aligned} R_1 &= R_0 (1 + \alpha_0 \theta_1) \\ R_2 &= R_0 (1 + \alpha_0 \theta_2) \\ \therefore \frac{R_1}{R_2} &= \frac{1 + \alpha_0 \theta_1}{1 + \alpha_0 \theta_2} \end{aligned} \quad (2.13.1)$$

يمكن حساب معامل درجة الحرارة للمقاومة α في أي درجة حرارة θ_1 كما يلي :
إذا مد الجزء الخطي من منحنى خاصية المقاومة مع درجة الحرارة لكي يقطع احدائى درجة الحرارة في النقطة θ_3 كما مبين في الشكل نجد من تشابه المثلثات :

$$\frac{R_2 - R_1}{\theta_2 - \theta_1} = \frac{R_1}{\theta_1 + \theta_3}$$

لذا فمن المعادلة (2.12)

$$\alpha_1 = \frac{\frac{R_1}{\theta_1 + \theta_3}}{R_1} = \frac{1}{\theta_1 + \theta_3}$$

$$\therefore \theta_3 = \frac{1 - \alpha_1 \theta_1}{\alpha_1}$$

وبصورة عامة

$$\alpha_n = \frac{1}{\theta_n + \theta_3}$$

وبالتعويض عن θ_3

$$\alpha_n = \frac{1}{\theta_n + \frac{1 - \alpha_1 \theta_1}{\alpha_1}}$$

$$\therefore \alpha_n = \frac{1}{\theta_n - \theta_1 + \frac{1}{\alpha_1}} \quad (2.14)$$

ومرة أخرى في درجة الحرارة المرجعية (صفر مئوية) يكون

$$\alpha_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} - \theta_1} \quad (2.14.1)$$

مثال (7.2) : عندما يكون فرق الجهد المسلط عبر ملف من سلك نحاسي في درجة حرارة متوسطة 20 مئوية هو 10 فولت يكون التيار المار فيه 1 أمبير . وبعد فترة من الزمن ينخفض التيار الى 0.95 أمبير مع بقاء فرق الجهد دون تغيير . اوجد متوسط درجة حرارة السلك . علما بأن معامل درجة الحرارة للمقاومة للنحاس في درجة صفر مئوية هو 4.28×10^{-3} لكل كلفن

$$R_1 = \frac{V}{I_1} = \frac{10.0}{1.0} = 10.0 \Omega \quad \text{في } \theta_1$$

$$R_2 = \frac{V}{I_2} = \frac{10.0}{0.95} = 10.53 \Omega \quad \text{في } \theta_2$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1 + \alpha_0 \theta_1}{1 + \alpha_0 \theta_2}$$

$$\frac{10.0}{10.53} = \frac{1 + (4.28 \times 10^{-3} \times 20)}{1 + (4.28 \times 10^{-3} \times \theta_2)}$$

$$\theta_2 = \underline{33.4^\circ\text{C}}$$

لذا

$$\alpha_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} - \theta_1}$$

$$\therefore 4.28 \times 10^{-3} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} - 20}$$

$$\therefore \frac{4.28 \times 10^{-3}}{\alpha_1} - 8.56 \times 10^{-2} = 1$$

$$\therefore \alpha_1 = \frac{4.28 \times 10^{-3}}{1.08} = 3.96 \times 10^{-3}$$

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_1 (\theta_2 - \theta_1)]$$

$$\therefore 10.53 = 10.0 [1 + 3.96 \times 10^{-3} (\theta_2 - 20)]$$

$$\therefore \theta_2 - 20 = \frac{0.53}{3.96 \times 10^{-2}} = 13.4 \quad \therefore \theta_2 = \underline{33.4^\circ\text{C}}$$

مثال (8-2) : فتيلة مصباح انارة ذي قدرة 100 واط تعمل على فرق جهد 240 فولت تصل درجة حرارتها الى 2000 درجة مئوية فاذا كان معامل درجة الحرارة لمقاومة الفتيلة يساوي 5×10^{-3} لكل كلفن في درجة حرارة 15 درجة مئوية . احسب التيار الذي يمر في المصباح فور اشعاله .

$$\frac{240^2}{100} = 576 \Omega \quad : \quad \text{مقاومة المصباح في درجة حرارة 2000 مئوية تساوي}$$

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_1 (\theta_2 - \theta_1)]$$

$$\therefore 576 = R_1 [1 + 5 \times 10^{-3} (2000 - 15)]$$

$$= R_1 (1 + 9.92)$$

$$\therefore R_1 = \frac{576}{10.92} = 52.7 \Omega$$

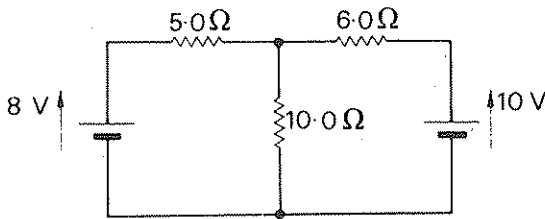
∴ ان التيار في لحظة اشعال المصباح يساوي

$$= \frac{V}{R_1} = \frac{240}{52.7} = 4.55 \text{ A.}$$

7.2 تحليل الشبكات المعقدة باستعمال قانوني كرشوف :

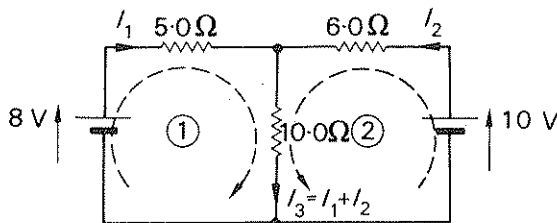
يمكن باستعمال المعادلتين (2.3) و (2.5) في حل كثير من المسائل المتعلقة بالشبكات . الا انه لدوائر أعقد من ذلك نحتاج الى طرق أخرى .
ان التطبيق المباشر لقانوني كرشوف المعروفين في الفقرة 2.2 هو أحد الطرق الشائعة في الحل كما مبين في المسائل ادناه . وفي كل حالة يجب تطبيق القانون الاول عند فرض التيارات في فروع الشبكة .

مثال (9.2) : احسب التيار في كل فرع من فروع الشبكة المبينة بالشكل 10.2



شكل 10.2 شبكة المثال 9.2

نفرض ان اتجاه التيارات في الشبكة كما مبين في الشكل 11.2 في الدارة (1) بالاتجاه المبين



شكل 11.2 جزء من المثال 9.2

$$8 = 5I_1 + 10(I_1 + I_2) \quad \text{①}$$

$$\therefore 8 = 15I_1 + 10I_2$$

في الدارة ② بالاتجاه المبين

$$10 = 6I_2 + 10(I_1 + I_2)$$

$$\therefore 10 = 10I_1 + 16I_2 \quad [2]$$

اضرب [1] في 2 و [2] في 3

$$16 = 30I_1 + 20I_2 \quad [3]$$

$$30 = 30I_1 + 48I_2 \quad [4]$$

اطرح [3] من [4] للحصول على

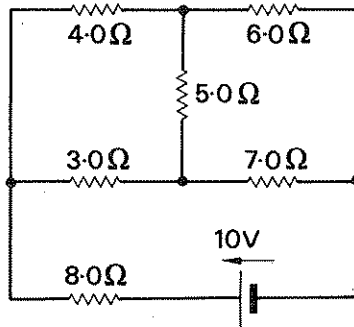
$$\therefore 14 = 28I_2 \quad \therefore I_2 = \frac{14}{28} = 0.50 \text{ A}$$

بالتعويض في [1]

$$8 = 15I_1 + 5.0 \quad \therefore I_1 = \frac{3.0}{15.0} = 0.20 \text{ A}$$

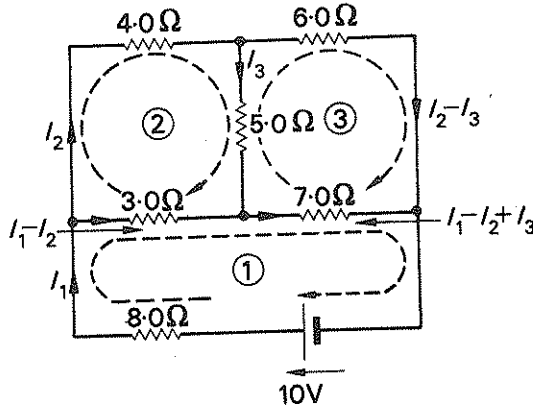
$$I_3 = I_1 + I_2 = 0.50 + 0.20 = 0.70 \text{ A}$$

مثال (10:2) : احسب التيار المار في المقاوم 5 أوم في الشبكة المبينة في الشكل 12:2



شكل 12:2 شبكة المثال 10:2

13-2 لتفرض ان التيار المار في الشبكة هو كما مبين في الشكل



شكل 13-2 جزء من المثال 10-2

لاحظ بان التيار في الفرع المطلوب قد عين برمز واحد فقط (اي I_3) . ان هذا يعني ان المعادلات يجب حلها فقط لهذا المجهول .
في الدارة ① بالاتجاه المبين

$$10 = 8I_1 + 3(I_1 - I_2) + 7(I_1 - I_2 + I_3) \quad [1]$$

$$\therefore 10 = 18I_1 - 10I_2 + 7I_3$$

في الدارة ② بالاتجاه المبين

$$0 = 4I_2 + 5I_3 - 3(I_1 - I_2) \quad [2]$$

$$\therefore 0 = -3I_1 + 7I_2 + 5I_3$$

في الدارة ③ بالاتجاه المبين

$$0 = 6(I_2 - I_3) - 7(I_1 - I_2 + I_3) - 5I_3$$
$$\therefore 0 = -7I_1 + 13I_2 - 18I_3 \quad [3]$$

بضرب معادلة [2] $6 \times$

$$0 = -18I_1 + 42I_2 + 30I_3 \quad [4]$$

بجمع المعادلتين [1] و [4]

$$10 = 32I_2 + 37I_3 \quad [5]$$

بضرب [2] $7 \times$ و [3] $3 \times$

$$0 = -21I_1 + 49I_2 + 35I_3 \quad [6]$$

$$0 = -21I_1 + 39I_2 - 54I_3 \quad [7]$$

ب طرح المعادلة [7] من [6]

$$0 = 10I_2 + 89I_3$$
$$\therefore I_2 = -8.9I_3 \quad [8]$$

بتعويض معادلة [8] في المعادلة [5]

$$\therefore 10 = 32(-8.9I_3) + 37I_3$$

$$\therefore 10 = -285I_3 + 37I_3$$

$$\therefore 10 = -248I_3$$

$$\therefore I_3 = -\frac{10}{248} = \underline{\underline{-0.0403 \text{ A} \equiv -40.3 \text{ mA}}}$$

ان الاشارة السالبة توضح ان التيار هو بعكس الاتجاه المبين .

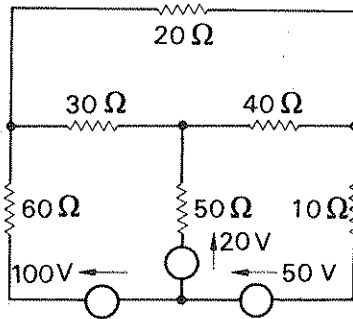
في المثالين 9-2 و 10-2 كان عدد المجاهيل (و المساوى لعدد المعادلات المطلوبة لايجاد

المجاهيل (يساوي عدد الدارات في الدائرة . وقد كان بالإمكان استعمال دارات اخرى عدا المختارة فعلى سبيل المثال في المثال (10-2) كان بالإمكان استخدام دائرة خارجية في الدائرة تحتوي على مصدر ق . د . ك . 10 فولت والمقاومات 8 و 4 و 6 أوم . علينا ان نلاحظ انه في كل دائرة جديدة يجب شمول فرع جديد واحد على الاقل لم يكن قد استخدم فيما سبق .

8-2 تحليل الشبكة باستعمال تيارات ماكسويل (Maxwell) الدارة

هذه الطريقة تشبه طريقة استخدام قانوني كرشوف الا أن التيارات الدوارة تخصص لدارات مختلفة في دائرة بدلا من تخصيصها للفروع وبعد ذلك يمكن إيجاد تيارات الفروع بأخذ المجموع الجبري لتيارات الدارات المشتركة في الفرع . ويمكن إيجاد المعادلات المطلوبة من مساواة المجموع الجبري لـ ق . د . ك حول دائرة لمجموع فروق الجهد باتجاه التيارات الدوارة في الدارات طبقا لقانون كرشوف الثاني .

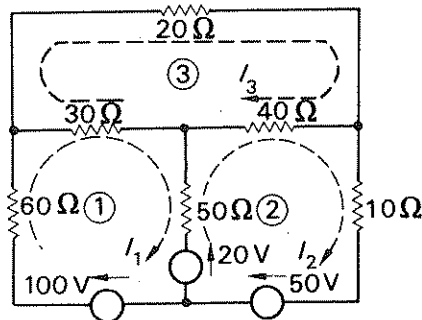
مثال (11-2) : احسب التيار في كل فرع من فروع الشبكة المبينة في الشكل 14-2



شبكة المثال 11-2

شكل 14-2

نفرض ان التيارات الدوارة في الدارات كما مبين في الشكل 15-2



شكل 15-2 جزء من المثال 11-2

① في الدارة

$$\begin{aligned} 100 - 20 &= I_1(60 + 30 + 50) - I_2 \cdot 50 - I_3 \cdot 30 \\ \therefore 80 &= 140I_1 - 50I_2 - 30I_3 \end{aligned} \quad [1]$$

② في الدارة

$$\begin{aligned} 50 + 20 &= I_2(50 + 40 + 10) - I_1 \cdot 50 - I_3 \cdot 40 \\ \therefore 70 &= -50I_1 + 100I_2 - 40I_3 \end{aligned} \quad [2]$$

③ في الدارة

$$\begin{aligned} 0 &= I_3(30 + 20 + 40) - I_1 \cdot 30 - I_2 \cdot 40 \\ \therefore 0 &= -30I_1 - 40I_2 + 90I_3 \end{aligned} \quad [3]$$

من حل هذه المعادلات ينتج

$$I_1 = 1.65 \text{ A}, I_2 = 2.16 \text{ A}, I_3 = 1.5 \text{ A}$$

I_1	أمبير باتجاه	$1.65 = I_1 = \Omega 60$	التيار في المقاوم
I_1	أمبير باتجاه	$0.15 = I_3 - I_1 = \Omega 30$	التيار في المقاوم
I_2	أمبير باتجاه	$0.51 = I_1 - I_2 = \Omega 50$	التيار في المقاوم
I_2	أمبير باتجاه	$0.66 = I_3 - I_2 = \Omega 40$	التيار في المقاوم
I_2	أمبير باتجاه	$2.16 = I_2 = \Omega 10$	التيار في المقاوم
I_3	أمبير باتجاه	$1.5 = I_3 = \Omega 20$	التيار في المقاوم

في المثال (11.2) اخذت كافة التيارات الدوارة بنفس الاتجاه اي (باتجاه دوران عقارب الساعة) ولكن ليس من الضروري أن يحصل ذلك دائماً ولكن اذا اخذ ذلك بنظر الاعتبار في تيارات الدارات فان المعادلات ستكون بالشكل :

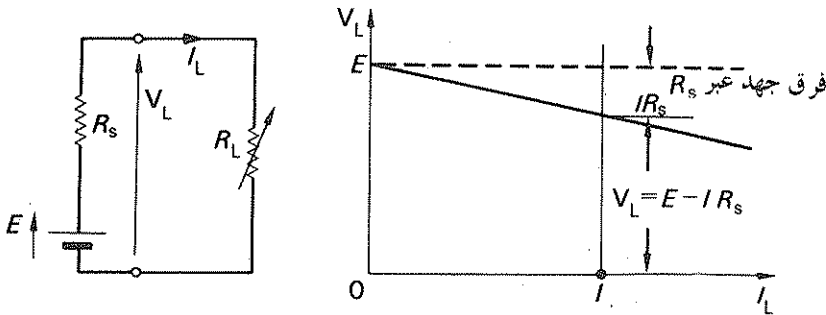
$$\begin{aligned} E_1 &= R_{11} I_1 - R_{12} I_2 - R_{13} I_3 \dots - R_{1n} I_n \\ E_2 &= -R_{21} I_1 + R_{22} I_2 - R_{23} I_3 \dots - R_{2n} I_n \\ E_3 &= -R_{31} I_1 - R_{32} I_2 + R_{33} I_3 \dots - R_{3n} I_n \\ E_n &= -R_{n1} I_1 - R_{n2} I_2 - R_{n3} I_3 \dots + R_{nn} I_n \end{aligned}$$

حيث E_1 هي المجموع الجبري لـ ق . د . ك في الدارة (1) باتجاه I_1
 $E_2 =$ المجموع الجبري لـ ق . د . ك في الدارة (2) باتجاه I_2 وهكذا .

R_{11} = مجموع المقاومات في الدارة ①
 R_{22} = مجموع المقاومات في الدارة ② وهكذا
 R_{12} = مجموع المقاومات المشتركة بين الدارتين ① و ② وهكذا
 R_{23} = مجموع المقاومات المشتركة بين الدارتين ② و ③ وهكذا
 من التعريف يظهر أن R_{12} تساوي R_{21} ، R_{23} تساوي R_{32} وهكذا .
 الحد المحتوي على التيار الدوار في الدارة نفسها يكون موجباً فقط .
 من هذه القواعد يمكن كتابة المعادلات اللازمة للحل من التمعن في الدارة وهذا يبدو واضحاً من المعادلات
 [1]، [2]، [3] في المثال (11:2) .

9-2 الخلايا (Cells) الخاوية على مقاومات داخلية

ان تمثيل مصدر الطاقة الكهربائية بمصدر لـ E و R_s لا يعطي تمثيلاً كاملاً فحينما يجهز المصدر تياراً فإن فرق الجهد عبر طرفي المصدر ينخفض ، وذلك يعود الى وجود مقاومة داخلية والتي لا يتخلو منها مصدر . فعلى سبيل المثال فان مادة الألكتروليت في الخلية تقاوم التيار المار بها وذلك لا يعني فقط ان فرق الجهد بين طرفيها ينخفض عند قيامها بتجهيز التيار بل ان جزءاً من الطاقة الكيمياوية المخزونة في الخلية تفقد كحرارة داخل الخلية نفسها . لذا فان التمثيل الأدق للخلية يمكن الحصول عليه بوضع مقاومة مبربوطة على التوالي مع مصدر E و R_s كما يظهر في الشكل 16-2 هذا التمثيل مع خاصية تغير فولتية اطراف الاخراج مع تيار الاخراج .



شكل 16-2 خلية مع مقاومتها الداخلية

مثال (12:2) بطارية مكونة من خمسة خلايا متشابهة مبربوطة على التوالي . عند ربط مقاومة خارجية مقدارها 4 أوم عبر البطارية يكون التيار 1.5 أمبير . وعند تبديل المقاومة الخارجية بأخرى مقدارها 9 أوم ينخفض التيار الى 0.75 أمبير . أوجد ق. د. ك. لكل خلية ومقاومتها الداخلية .
 نفرض أن E تساوي ق. د. ك. لكل خلية و R تساوي المقاومة الداخلية لكل خلية .

$$\therefore 1.5 = \frac{5E}{5R+4} \dots [1]$$

$$0.75 = \frac{5E}{5R+9} \dots [2]$$

[1] ÷ [2] بتقسيم [1] على [2] :

$$\therefore 2.0 = \frac{5R+9}{5R+4}$$

$$\therefore 10R+8 = 5R+9 \quad \therefore 5R = 1 \quad \therefore R = 0.2 \Omega$$

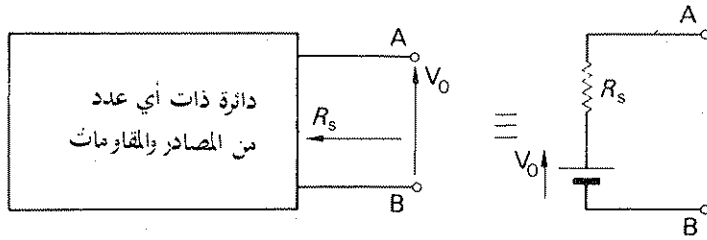
$$\therefore 1.5 = \frac{5E}{5 \times 0.2 + 4} = \frac{5E}{5}$$

$$\therefore 5E = 1.5 \times 5 \quad \therefore E = 1.5 \text{ V}$$

10:2 نظرية ثيفنن (Thevenin's Theorem)

تنص نظرية ثفنن على ما يلي :

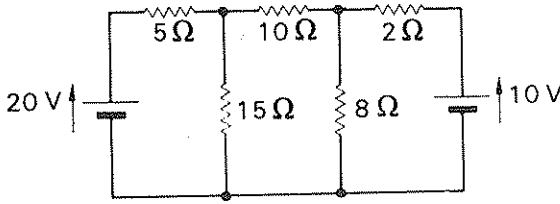
التيار المار في أي فرع في دائرة مساوي للتيار الذي يمر في الفرع اذا ما ربط عبر مصدر الطاقة الكهربائية قيمة I_0 ، I_0 له تساوي فرق الجهد الذي يظهر عبر الفرع اذا ما فتحت دائرته . وقيمة المقاومة الداخلية له تساوي المقاومة التي تظهر عبر أطراف الفرع عند فتح دائرته . وعند حساب المقاومة الداخلية فان كافة مصادر الـ I_0 ، I_0 ك تعامل كدوائر قصر (Short circuits) ان نظرية ثفنن هي أداة فعالة في حل المسائل المتعلقة بالشبكات وبالاخص الشبكات الالكترونية حيث تنص على ان الشبكة مهما كانت معقدة فبعد ازالة الفرع يمكن الاستعاضة عنها بمصدر واحد للـ I_0 ، I_0 . على التوالي مع مقاومة داخلية . ويظهر ذلك من الشكل 17-2



شكل 17-2 نظرية ثفنن

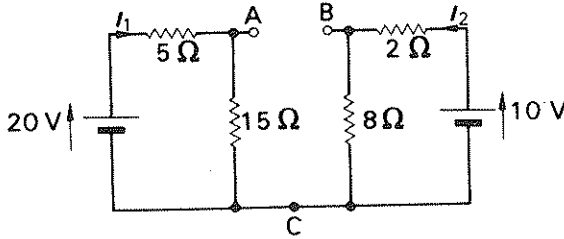
ستعمل نظرية ثفنن بأقصى فائدة في الشبكات عندما يكون حذف الفرع المعني فيها يؤدي الى تبسيط الدائرة المعقدة تبسيطاً كبيراً .

مثال (13-2) احسب التيار في المقاوم 10 أوم في الشبكة المبينة في الشكل 18-2



شكل 18-2 شبكة المثال 13-2

عند فتح الفرع الذي مقاومته 10 أوم تتحول الشبكة كما مبينة في الشكل 19-2



شكل 19-2 جزء من المثال 13-2

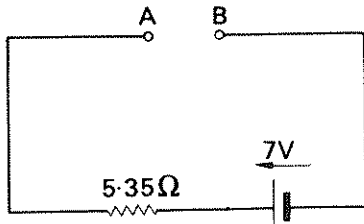
$$I_1 = \frac{20}{5 + 15} = 1.0 \text{ A} \quad \therefore V_{AC} = 1.0 \times 15 = 15 \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{10}{2 + 8} = 1.0 \text{ A} \quad \therefore V_{BC} = 1.0 \times 8 = 8 \text{ V}$$

$$\therefore V_{AB} = V_{AC} - V_{BC} = 15 - 8 = 7 \text{ V}$$

$$R_0 = \frac{5 \times 15}{5 + 15} + \frac{8 \times 2}{8 + 2} = 3.75 + 1.6 = 5.35 \Omega$$

المقاومة بين A و B تساوي R_0



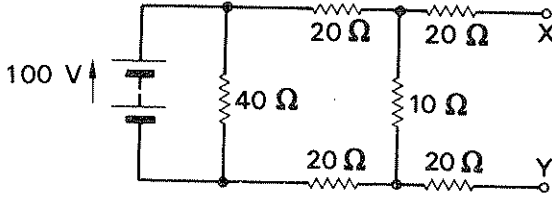
20-2 بعد ذلك تبسط الدائرة كما موضح في الشكل

شكل 20-2 جزء من المثال 13-2

إذا يكون التيار في المقاومة 10 أوم عبر AB

$$= \frac{7}{5.35 + 10} = 0.46 \text{ A from A to B}$$

مثال (14-2) : احسب القدرة المفقودة في المقاوم 50 أوم المربوط بين X و Y في الشبكة المبينة في الشكل 21.2



شكل 21.2 شبكة المثال 14.2

عند فتح الدائرة في Y X يكون التيار المار في المقاوم 10 أوم كما يلي :

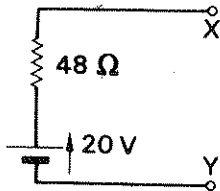
$$I = \frac{100}{20 + 10 + 20} = 2 \text{ A}$$

ان الفولتية للدائرة المفتوحة عبر $V_0 = XY = 20$ فولت
المقاومة عند النظر الى $R_0 = XY$

$$R_0 = 20 + \frac{10(20 + 20)}{10 + (20 + 20)} + 20$$

$$= 20 + 8 + 20 = 48 \Omega$$

تبسيط الدائرة الى الشكل 22-2



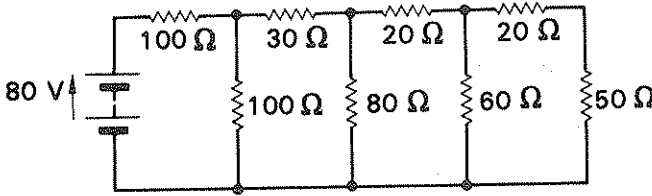
شكل 22.2 جزء من المثال 14.2

إذاً التيار في المقاوم 50 أوم المربوط عبر YX

$$= I = \frac{20}{48 + 50}$$

$$P = I^2 R = \left(\frac{20}{98}\right)^2 \times 50 = 20.8 \text{ W}$$

لاحظ بأن الاستجابة عبر XY لن تتأثر بقيمة المقاوم المربوط عبر المصدر 100 فولت .
مثال (15.2) : احسب التيار في المقاوم 50 أوم المبين في الشكل 23-2

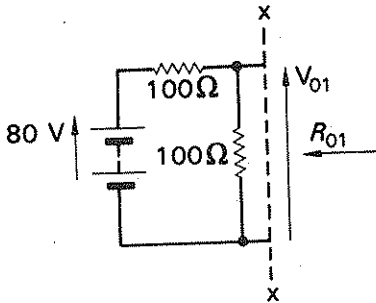


شكل 23-2 شبكة المثال 15.2

بتحويل الجزء من الشبكة المبين في الشكل 24.2 الى مصدر واحد مع مقاومة داخلية يكون

$$V_{01} = \frac{100}{100 + 100} \times 80 = 40 \text{ V}$$

$$R_{01} = \frac{100 \times 100}{100 + 100} = 50 \Omega$$

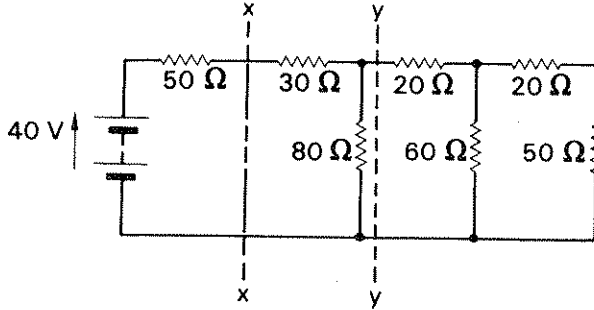


شكل 24.2 جزء من المثال 15.2

لذا فان الشبكة الاصلية تبسط كما موضح في الشكل 25.2 ، وباستعمال نفس الطريقة لجزء الدائرة الى اليسار من yy :

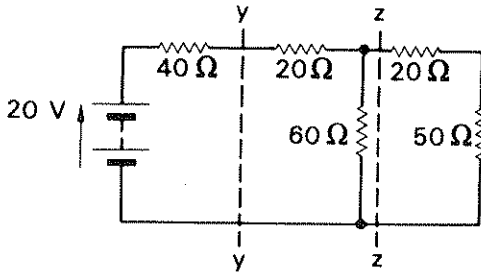
$$V_{02} = \frac{40}{50 + 30 + 80} \times 80 = 20 \text{ V}$$

$$R_{02} = \frac{80(50 + 30)}{80 + (50 + 30)} = 40 \Omega$$



شكل 25.2 جزء من المثال 15.2

لذا تبسط الشبكة الاصلية الى الشكل 26.2



شكل 26.2 جزء من المثال 15.2

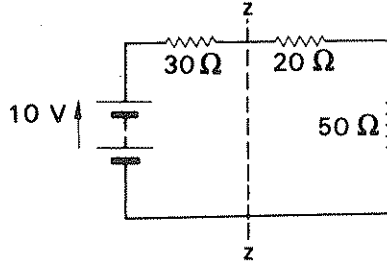
وباستعمال نفس الطريقة للجزء من الشبكة الى اليسار من zz يكون :

$$V_{03} = \frac{20}{40 + 20 + 60} \times 60 = 10 \text{ V}$$

$$R_{03} = \frac{60(20 + 40)}{60 + (20 + 40)} = 30 \Omega$$

لذا تبسط الشبكة الاصلية الى الشكل 27-2

$$\text{التبارفي ال} = \frac{10}{50 + 20 + 30} = 1 = \Omega 50 \quad 0.1 \text{ أمبير}$$



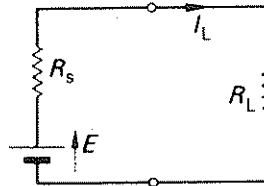
شكل 27-2 جزء من المثال 15-2

11-2 مولد التيار الثابت Constant Current Generator

سبق وان بينا في الفقرة 9.2 ان مصدر الطاقة الكهربائية يمكن أن يمثل بمصدر الـ E مع مقاومة على التوالي. الا أن هذا التمثيل هو ليس الوحيد من نوعه. فلنفرض أن مثل هذا المصدر يغذي مقاوم حمل R_L (Load Resistor) كما مبين في الشكل 28.2 فمن هذه الدائرة :

$$I_L = \frac{E}{R_s + R_L} = \frac{\frac{E}{R_s}}{\frac{R_s + R_L}{R_s}}$$

$$I_L = \frac{R_s}{R_s + R_L} \times I_s \quad (2.15)$$

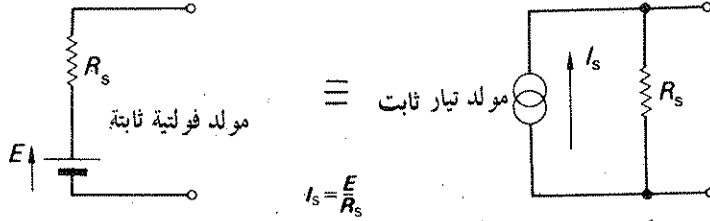


شكل 28.2 مصدر طاقة يجيز حملا

حيث $I_s = \frac{E}{R_s}$ = التيار الذي يمر في دائرة قصر عبر اطراف الاخراج للمصدر. وبمقارنة العلاقة

2.8 مع العلاقة 2.15 عند النظر من جهة الحمل يمكن ملاحظة المصدر متمثلا بمصدر لتيار I_s والذي يتقسم بين المقاومة الداخلية R_s ومقاوم الحمل R_L مربوطين على التوازي. لذا فانه لغرض حل المسألة بشكل اسهل يمكن استعمال اي من التمثيلين. في كثير من الحالات العملية يمكن تسهيل الحل

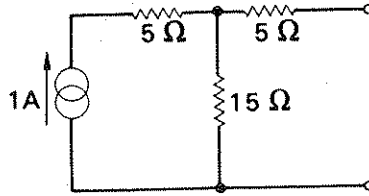
باستعمال تمثيل التيار . الشكل 29-2 يوضح التكافؤ بين الشكلين .



شكل 29-2 اشكال تمثيل الدوائر المكافئة لمولد التيار الثابت و مولد الفولتية الثابتة

تؤخذ مقاومة مولد التيار الثابت على ان مقدارها لا نهاية . نظرا لان مقاومة المصدر الكامل يجب أن تكون R_s كما وجد في حالة الفولتية الثابتة .

كما يؤخذ مولد الفولتية الثابتة المثالي على أن له مقاومة داخلية مقدارها صفرا لكي يزود نفس الفولتية لكل الاحمال وعلى العكس فان مصدر مولد التيار الثابت المثالي يحوي على مقاومة داخلية لا نهائية لكي يزود نفس التيار في كل الاحمال . مع العلم ان هذين الطرفين يمكن الاقتراب منهما بشكل كبير عمليا مثال (16-2) مثل الشبكة المبينة في الشكل 30-2 بمصدر واحد للقوة الدافعة الكهربائية على التوالي مع مقاومة .

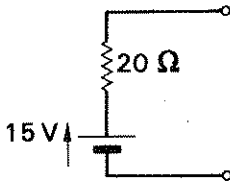


شكل 30-2 شبكة المثال 14-2

$$= V_0 = 1 \times 15 = 15 \text{ V}$$

فرق الجهد عبر طرفي الاخراج =

المقاومة عند النظر الى طرفي الاخراج = $20 = 15 + 5$ أوم
لذا فان الدائرة يمكن تمثيلها كما مبين في الشكل 31-2



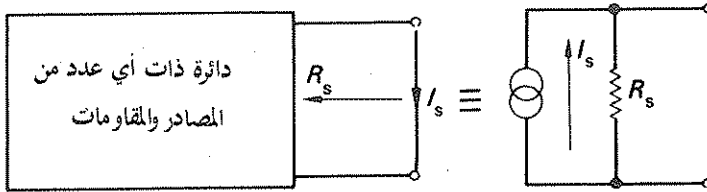
شكل 31-2 جزء من المثال 14-2

12:2 نظرية نورتن (Norton's Theorem)

عند فتح فرع في دائرة يمكن تمثيل باقي الدائرة بمصدر لاق. د.ك. على التوالي مع المقاوم وهذا ناتج عما ذكر في الفقرة 11:2 والذي يمكن تمثيله تماماً بمصدر للتيار على التوازي مع نفس المقاوم لذا فان نظرية نورتن هي اعادة صياغة لنظرية ثفنن باستعمال مصدر مولد التيار المكافئ بدلا من مصدر مولد الفولتية المكافئ. وعلى هذا يمكن صياغتها بالشكل التالي :

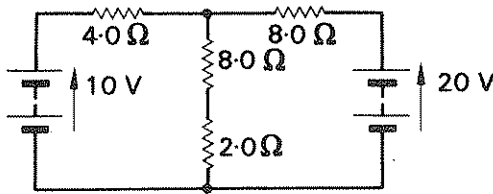
التيار الذي يمر في اي فرع في شبكة يساوي ذلك التيار الذي يمر في نفس الفرع اذا ما ربط عبر مصدر للطاقة الكهربائية ويكون تيار دورة قصره يساوي التيار الذي يمر في دائرة القصر عبر الفرع ومقاومته الداخلية تساوي المقاومة التي تظهر عبر طرفي الفرع عند فتح دائرته .

يبين الشكل 32:2 توضيحاً لنظرية نورتن .



شكل 32:2 نظرية نورتن

مثال (17:2) أحسب فرق الجهد عبر المقاوم 2 أوم في الشبكة المبينة في الشكل 33:2



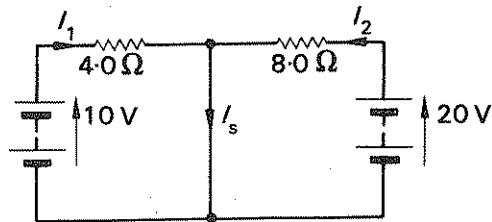
شكل 33:2 شبكة المثال 17:2

بقصر الدائرة عبر طرفي الفرع المحتوي على المقاوم 2 أوم تتنج الشبكة المبينة في الشكل 34:2

$$10 = 4.0 I_1 \quad \therefore \quad I_1 = \frac{10}{4.0} = 2.5 \text{ A}$$

$$20 = 8.0 I_2 \quad \therefore \quad I_2 = \frac{20}{8.0} = 2.5 \text{ A}$$

$$\therefore \quad I_s = I_1 + I_2 = 5.0 \text{ A}$$

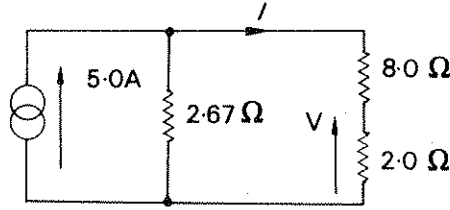


شكل 34:2 جزء من المثال 17:2

المقاومة عبر فرع الدائرة المفتوحة

$$= \frac{4.0 \times 8.0}{4.0 + 8.0} = 2.67 \Omega$$

لذا فإن الدائرة تتبسط كالمبين في الشكل 35-2

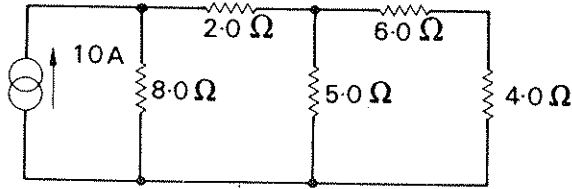


شكل 35-2 جزء من المثال 17-2

$$I = \frac{2.67}{2.67 + 10.0} \times 5.0 = 1.06 \text{ A}$$

$$\therefore V = 1.06 \times 2.0 = 2.12 \text{ V}$$

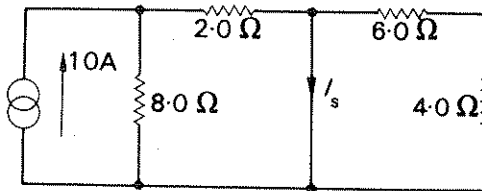
مثال (18-2) احسب التيار في المقاوم 5 أوم في الشبكة المبينة في الشكل 36-2



شكل 36-2 شبكة المثال 18-2

بقصر الدائرة عبر طرفي الفرع المحتوي على المقاوم 5 أوم تنتج الدائرة المبينة في شكل 37-2

$$I_s = \frac{8.0}{8.0 + 2.0} \times 10 = 8.0 \text{ A}$$



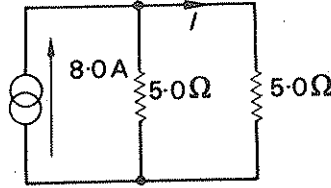
شكل 37-2 جزء من المثال 17-2

أما المقاومة التي تظهر عند النظر داخل طرفي فرع الدائرة المفتوحة

$$= \frac{(2.0 + 8.0)(6.0 + 4.0)}{(2.0 + 8.0) + (6.0 + 4.0)} = \frac{10 \times 10}{20} = 5.0 \Omega$$

لذا فإن الدائرة تنبسط كما مبين في الشكل 38.2

$$I = \frac{5.0}{5.0 + 5.0} \times 8.0 = 4.0 \text{ A}$$



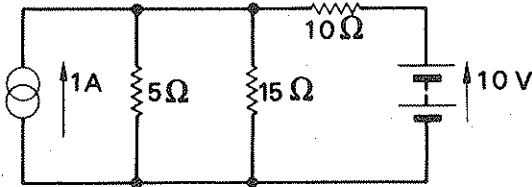
شكل 38.2 جزء من المثال 18.2

13.2 نظرية التراكب (Superposition Theorem)

تنص نظرية التراكب على ما يلي :

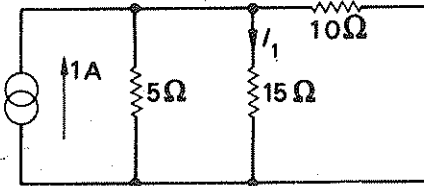
في أي شبكة تحتوي على أكثر من مصدر واحد (فولتية أو تيار) يمكن إيجاد التيار خلال أي فرع أو فرق الجهد عبره باعتبار كل مصدر على انفراد . ثم بعد ذلك جمع تأثيراتها . وعند حذف مصادر الق . د . ك . يجب استبدالها بدائرة قصر . أما عند حذف مصادر التيار فيجب استبدالها بدوائر مفتوحة .

مثال (19.2) احسب التيار في المقاوم 15 أوم في الشبكة المبينة بالشكل 39.2



شكل 39.2 شبكة المثال 19.2

نعتبر وجود مصدر التيار لوحده كما في شكل 40.2



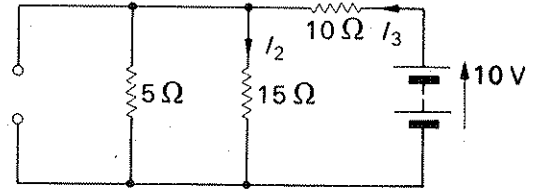
شكل 40.2 جزء من المثال 19.2

المقاوم 5 أوم على التوازي مع الـ 10 أوم

$$= \frac{5 \times 10}{5 + 10} = 3.33 \Omega$$

$$\therefore I_1 = \frac{3.33}{3.33 + 15} \times 1 = 0.18 \text{ A}$$

وعند اعتبار أن مصدر الفولتية يعمل لوحده كما مبين في الشكل 41:2
OJ



شكل 41:2 جزء من المثال 19:2

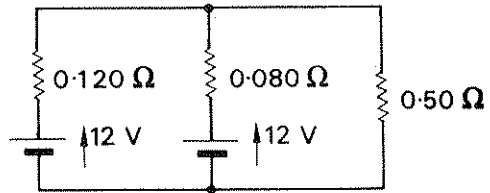
$$I_3 = \frac{10}{10 + \frac{15 \times 5}{15 + 5}} = \frac{10}{13.75} = 0.73 \text{ A}$$

$$\therefore I_2 = \frac{5}{5 + 15} \times 0.73 = 0.18 \text{ A}$$

إذا مجموع التيار في الـ 15 أوم $= I_2 + I_1 = 0.18 + 0.18 = 0.36$ أمبير

هذا مع العلم ان بالامكان تطبيق نظرية نورتن مع نظرية التراكب بنفس الوقت والذي يثبت فاعلية في بعض الدوائر كما موضح في المثال (20:2)

مثال (20:2) بطاريتان لكل منهما قوة دافعة كهربائية مقدارها 12 فولت مربوطتان على التوازي لتجهيز حمل مقاوم قيمته 0.5 أوم . وكانت المقاومات الداخلية للبطاريات تساوي 0.12 أوم و 0.08 أوم . احسب التيار في الحمل والتيار المجهز من كل بطارية .



شكل 42:2 جزء المثال 20:2

في الدائرة المبينة في الشكل 42:2 إذا قصرت الدائرة عبر الحمل يكون تيار دائرة القصر مساويا لما يلي :

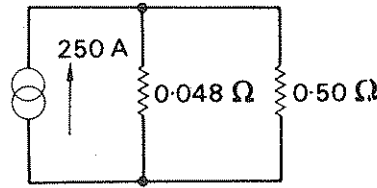
$$I_s = \frac{12}{0.120} + \frac{12}{0.08} = 100 + 150 = 250 \text{ A}$$

المقاومة التي تظهر عبر طرفي الحمل مفتوح الدائرة تساوي

$$R = \frac{0.120 \times 0.080}{0.120 + 0.080} = 0.048 \Omega$$

لذا فان الدائرة تبسط كما مبين في الشكل 43.2

$$I = \frac{0.048}{0.048 + 0.50} \times 250 = 21.9 \text{ A}$$



شكـل 43.2 جزء المثال 21.2

الفولتية بين طرفي البطارية

$$= 21.9 \times 0.50 = 10.95 \text{ V}$$

اذا التيار في البطارية الاولى يساوي

$$= \frac{12.0 - 10.95}{0.120} = 8.8 \text{ A}$$

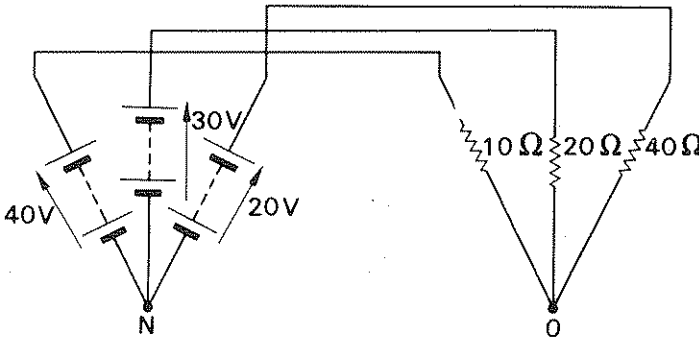
التيار في البطارية الثانية يساوي

$$= \frac{12.0 - 10.95}{0.08} = 13.1 \text{ A}$$

مثال (21.2) للشبكة المبينة في الشكل 44.2 احسب فرق الجهد بين النقطتين () N و مقدار

التيار الذي يمر في مقاوم قيمته 50 أوم مربوط بينهما التيار الكلي في الدائرة القصيرة عبر () N

$$= I_s = \frac{40}{10} + \frac{30}{20} + \frac{20}{40} = 4.0 + 1.5 + 0.5 = 6.0 \text{ A}$$



شبكة المثال 21.2

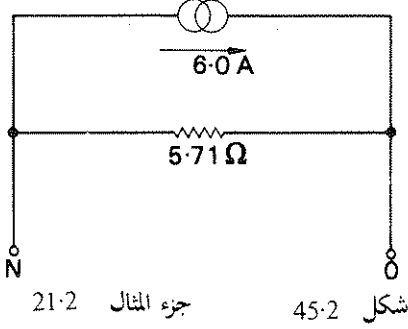
شكـل 44.2

إذا كانت R هي المقاومة بين O و N يكون

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{40} = \frac{7}{40}$$

$$\therefore R = \frac{40}{7} = 5.71 \Omega$$

لذا تبسط الدائرة كما مبين في الشكل 45:2



جزء المثال 21-2

شكل 45:2

إذا فولتية الدائرة المفتوحة عبر N:O)

$$= 6.0 \times 5.71 = \underline{34.26 \text{ V}}$$

التيار في المقاومة 50 أوم المربوطة بين ON

$$= \frac{5.71}{5.71 + 50} \times 6.0 = \underline{0.62 \text{ A}}$$

مسائل على دوائر التيار المستمر

1 - ماقيمة المقاومة المكافئة لثلاثة مقاومات قيمها 10، 25، 50 أوم عند ربطها
أ - على التوالي ب - على التوازي

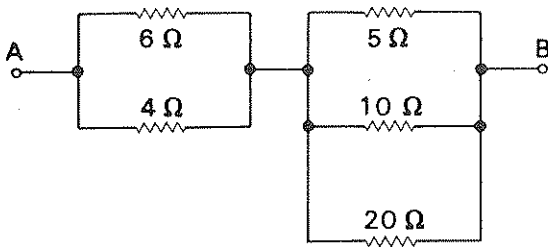
$$(a) 85 \Omega \quad (b) 6.25 \Omega$$

2 - مقاومان مربوطان على التوازي عبر مصدر 30 فولت بحيث يكون التيار الكلي 8 أمبير. إذا كان
0.25 من هذا التيار يمر في أحد المقاومين. احسب قيم المقاومين.

$$15 \Omega \quad 5 \Omega$$

3 - مقاومان مربوطان على التوالي عبر مصدر 100 فولت بحيث يكون فرق الجهد عبر احدهما
20 فولت والقدرة المفقودة فيه تساوي 1 واط. احسب قيم المقاومين (1600 Ω ، 400 Ω)

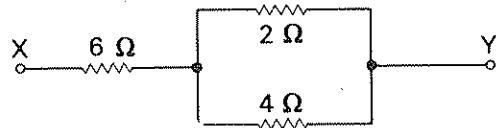
4 - ماقيمة المقاومة بين النقطتين A و B في الشبكة المبينة في شكل 46-2 (5.3 Ω)



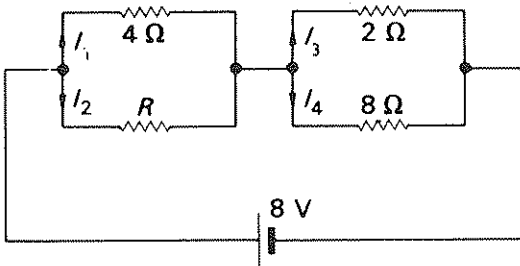
شكل 46-2

- 5- إذا كانت القدرة المفقودة في المقاوم 4 أوم المبين في شكل 47-2 تساوي 1 واط احسب فرق الجهد بين النقطتين X و Y
- 6- إذا كانت القدرة الكلية المفقودة في الشبكة المبينة في الشكل 48-2 تساوي 16 واط احسب قيمة المقاومة R والتيارات I_1 و I_2 و I_3 و I_4

6 Ω, 1.2 A, 0.8 A, 1.6 A, 0.4 A

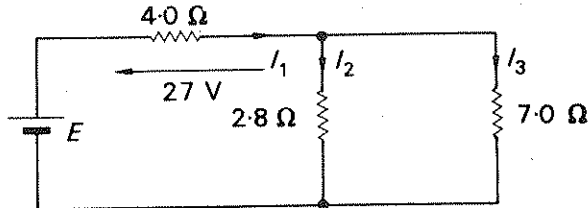


شكل 47:2



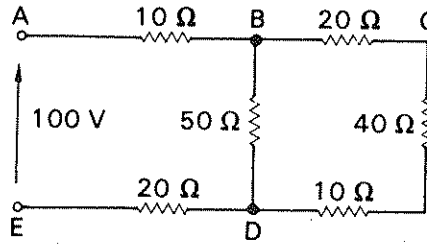
شكل 48-2

- 7- للشبكة المبينة في الشكل 49-2 احسب قيم E و I_1 و I_2 و I_3 و I_4
- (5.25 A, 3.75 A, 1.5 A, 31.5 V)



شكل 49:2

8 - للشبكة المبينة في الشكل 50-2 احسب التيار في كل مقاوم ثم احسب فرق الجهد
(1.69 A, 0.99 A, 0.7 A, -33.8 V, 35 V). V_{CD} , V_{ED}



شكل 50-2

9- اربع مقاومات A, B, C, D فيها على التعاقب 4, 5, 6, 7 اوم ربطت بدائرة

مقفلة بشكل مربع وسلط مصدر تيار مستمر قيمته 40 فولت عبر طرفي المقاوم C.

احسب :

أ- التيار المار في كل مقاوم

ب- فرق الجهد عبر كل مقاوم

ج- التيار الكلي للمصدر

د- التيار الكلي للمصدر اذا ربطت مقاوم قيمته 8 اوم على التوازي مع المقاومة A

(أ) في A, B and D, 2.50 A, C, 6.67 A (ب) A, 10.0 V,

B, 12.5 V, C, 40.0 V, and D, 17.5 V (c) 9.17 A (d) 9.40 A

10 - سلك نحاسي طوله 1 متر ومساحة مقطعه العرضي 1 ملم² مقاومته 0.019 اوم ماقيمة المقاومة
من سلك مصنوع من نفس النحاس طوله 250 متر ومساحة مقطعه العرضي 60 ملم²

(0.0718Ω)

11 - احسب مساحة المقطع العرضي لموصل من النحاس طوله 300 متر بحيث يكون هبوط الفولتية

عبره 8 فولت عند مرور 500 أمبير فيه مع العلم بان مقاوميه النحاس 0.019 ميكرواوم متر

(356 mm²)

12 - في تجربة وجد ان شريطا من النحاس طوله 100 ملم ومساحة مقطعه العرضي المتوسط 9.29 ملم

له مقاومة تساوي 171 ميكرواوم . احسب مقاومته

0.017 μΩ m

13 - المقاومة بين وجهين متقابلين من اوجه مكعب من النحاس طول ضلعه 10 ملم تساوي 1.70

ميكرواوم . بينما وجد ان مقاومة مكعبات مماثلة من الالمنيوم والبلاتينيوم . تساوي 3 ميكرواوم

و 11 ميكرواوم على التعاقب . اذا سحب كل مكعب ليكون سلك مساحة مقطعه العرضي 1 ملم² احسب التيار الذي يمر عند ربط الاسلاك الثلاثة على التوالي بخليعة قوتها الدافعة الكهربائية 2 فولت ومقاومتها الداخلية 0.343 اوم

4.0 A

14 - ملف مصنوع من سلك نحاسي قطره 1 ملم وطوله 1 كيلومتر مربوط على التوازي مع ملف ثان مصنوع من الالمنيوم قطره 1 ملم اذا كانت المقاومة الكلية تساوي 9.738 اوم وموصلية النحاس 59 ميكا سيمنس لكل متر وللالمنيوم 36 ميكا سيمنس لكل متر . احسب طول سلك الالمنيوم

500 m

15 - ملف من النحاس مقاومته تساوي 100 اوم في درجة حرارة 20° م احسب مقاومته بدرجة حرارة 100 م . علما بان معامل درجة الحرارة لمقاومة النحاس بدرجة 20 م تساوي 0.0043 لكل كلن

(134.4 Ω)

16 - عندما يسقط فرق جهد مقداره 10 فولت بين طرفي ملف يمر منه تيار مقداره 1 امبير حينما يكون درجة حرارة الملف 20 م ما مقدار التيار الذي يمر في الملف حينما يرتفع متوسط درجة حرارته الى 10 م مع بقاء فرق الجهد ثابتا . مع العلم ان معامل درجة الحرارة لمقاومة الملف تساوي 10⁻³ × 4.28 لكل كلن في درجة الصفر المتوي

(0.81 A)

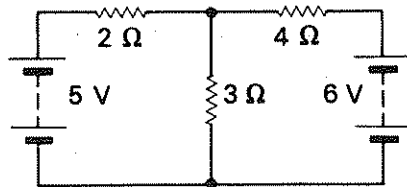
17 - مقاوم من الكاربون مقاومته 10 000 اوم في درجة حرارة 80 م ومقاومته 10310 اوم في درجة حرارة 20 م . احسب معامل درجة حرارة مقاومة الكاربون في درجة الصفر المتسوي

-5.00 × 10⁻⁴ K

18 - مقاوم مصنوع من سلك ملفوف مقاومته 1000 اوم في درجة 20 م مربوط على التوالي مع مقاوم من مادة نصف موصلة . عند تسليط فرق جهد مقداره 1.2 فولت عبر المنظومة المتواليه فان التيار المار يساوي 1 ملي امبير بغض النظر عن درجة حرارة المحيط اذا علمت ان معامل درجة الحرارة لمقاومة السلك في درجة 20 م تساوي 2 × 10⁻⁴ لكل كلن ما قيمة معامل درجة حرارة المادة نصف الموصلة اهمل التأثير الحراري للتيار

-1 × 10⁻³ k

19 - احسب التيار في كل فرع من فروع الشبكة المبينة في الشكل 51.2

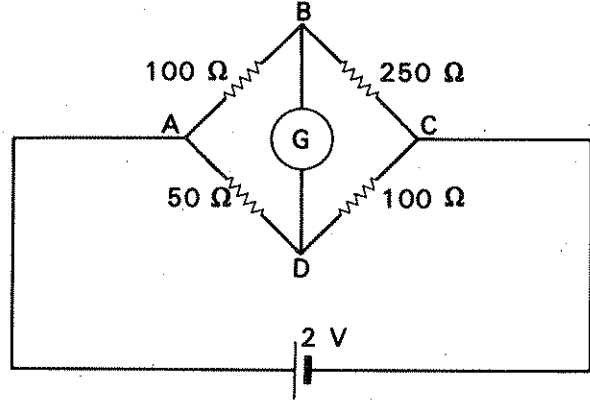


0.654 A; 0.577 A; 1.231 A

شكل 51.2

20 - احسب قيمة واتجاه التيار المار في الكلفانومتر G في شبكة القنطرة (Bridge) المبينة في الشكل 52:2. اذا علمت ان مقاومة الكلفانومتر (Galvanometer) تساوي 80 أوم والمقاومة الداخلية للخلية مهملة.

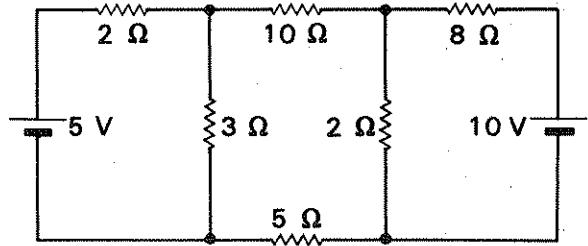
الى B من 0.515 mA



شكل 52:2

21- احسب التيار في المقاوم 10 أوم في الشبكة المبينة في الشكل 53:2

56.2 mA



شكل 53:2

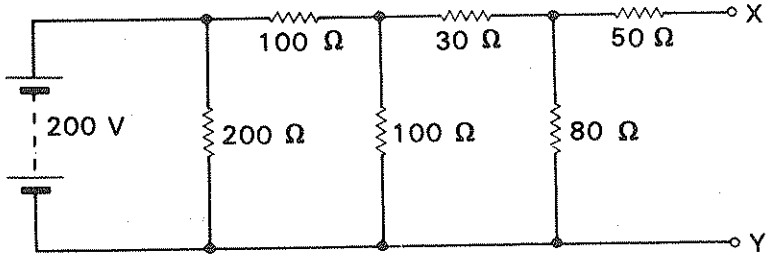
22 - عند تحميل بطارية بمقاوم قيمته 60 أوم وجد ان فولتية اطراف البطارية تساوي 98.4 فولت . وعند تحميلها بمقاوم 90 أوم كانت فولتية الاطراف 98.9 فولت . ما قيمة المقاومة التي تعطي فولتية اطراف قيمتها 98 فولت ؟

49.0 Ω

23- اوجد الدائرة المكافئة المتكونة من مصدر واحد للقوة الدافعة الكهربائية E على التوالي مع مقاوم R للشبكة المبينة في شكل 54:2 . ثم احسب القدرة المفقودة في المقاوم 10 أوم المربوط بين X و Y

54:2

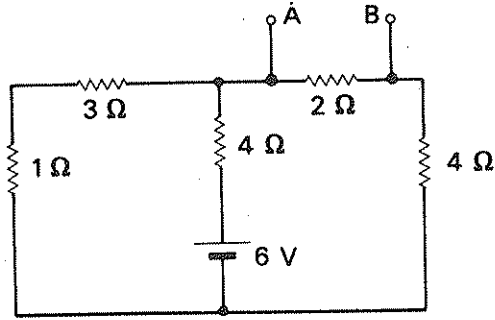
$E = 50 \text{ V}, R = 90 \Omega, 2.5 \text{ W}$



شكل 54-2

24- مثل الشبكة المبينة في الشكل 55:2 بين الطرفين A و B بمصدر واحد للتيار I ومقاومة داخلية R ثم احس التيار الذي يمر في المقاوم 6 أوم عند ربطه بين A و B

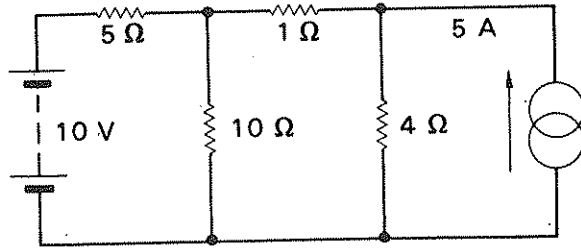
$$I = 0.5 \text{ A}, R = 1.5 \Omega, 0.10 \text{ A}$$



شكل 55:2

25- احس التيار في المقاوم 10 أوم في الشبكة المبينة في الشكل 56:2.

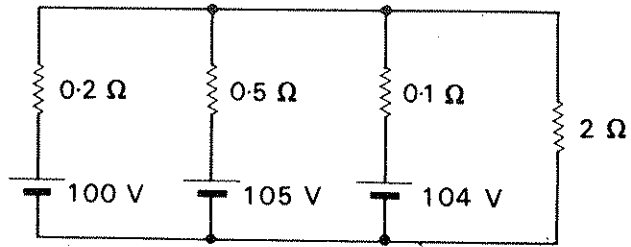
$$1.2 \text{ A}$$



شكل 56:2

26- للشبكة المبينة في الشكل 57:2 احس التيار في المقاوم 2 أوم والتيارات المسحوبة من كل بطارية.

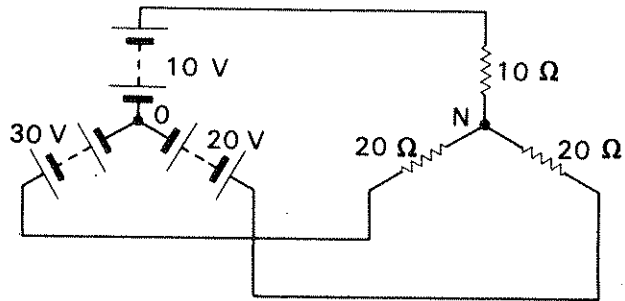
$$50.0 \text{ A}, 0 \text{ A}, 10.0 \text{ A}, 40.0 \text{ A}$$



شكل 57-2

27- للشبكة المبينة في الشكل 58-2 . احسب فرق الجهد V_{x0} ثم احسب مقاومة المقاوم الذي يسحب تيارا مقداره 1 امبير عند ربطه بين N و O

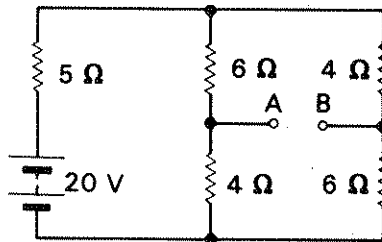
17.5 V, 12.5 Ω



شكل 58-2

28- للشبكة المبينة في الشكل 59-2 . احسب فرق الجهد V_{AB} ثم احسب مقدار واتجاه التيار الذي يمر في المقاوم 3Ω اوم المربوط بين A و B

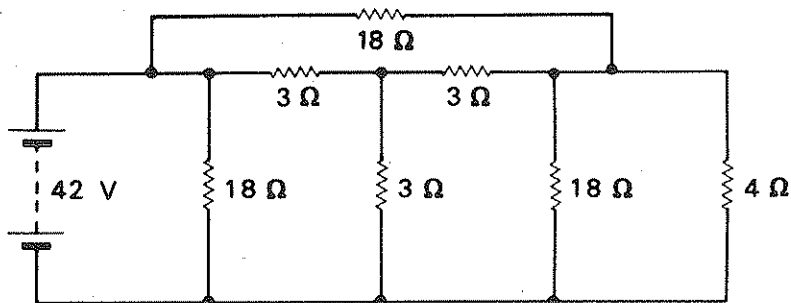
$V_{AB} = -2.0 \text{ V}, 0.25 \text{ A}$ (من B الى A)



شكل 59-2

29- احسب تيار البطارية والتيار في المقاومة 4 اوم في الشبكة المبينة في الشكل 60-2

12.0 A, 3.0 A



شكل 60-2

الفصل الثالث

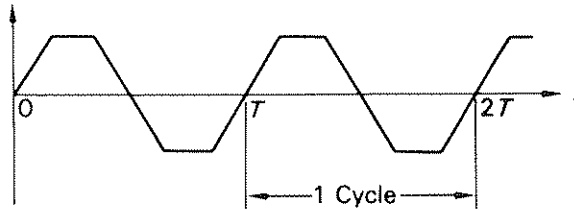
الكميات المتناوبة

الكمية المتناوبة هي التي تعمل بانتظام بأسلوب معين لفترة من الزمن ثم بعكس الاسلوب لفترة أخرى . والتيار المتناوب هو أحد الامثلة الجيدة على الكميات المتناوبة . لذا فالتيار المتناوب هو التيار الذي يسير أولاً باتجاه معين ثم يعكس ذلك الاتجاه بعد ذلك . ويحدث هذا الانعكاس في السريان خلال فترات زمنية منتظمة .

دوائر التيار المتناوب أكثر شيوعاً من دوائر التيار المستمر نظراً لأن الاولى أسهل من حيث النقل والسيطرة والاستهلاك في التطبيقات العامة . والتيار المتناوب ليس المثال الوحيد على الكميات المتناوبة بل هناك أمثلة أخرى كالفولتية المتناوبة . وعلينا قبل اعتبار استجابة الشبكة للتيارات والفولتية المتناوبة مناقشة خواص الكمية المتناوبة وملاحظة الطرق التي تعرف بها تلك الخواص . لذا فبالرغم من أن هذا الفصل يظهر كموضوع رياضي ممزوج باصطلاحات كهربائية الا ان ذلك ذو أهمية لفهم الكميات المقدمة بوضوح . نظراً لأن النظريات اللاحقة تعتمد على ذلك .

1-3 التردد (Frequency) والفترة (Period)

إذا رسمت القيم الآتية لكمية متناوبة مع الزمن فالمنحني الناتج يسمى منحني شكل الموجة (waveform graph) ويوضح الشكل 1-3 مثالاً على موجة متناوبة



شكل 1-3 التردد والفترة لكمية متناوبة

يلاحظ من المنحني بان الموجه يعيد نفسها بعد فترة من الزمن ولذا يدعى تعاقب حدوثها خلال هذه الفترة بالدورة (Cycle) . ويوضح الشكل 1-3 دورة واحدة . ويسمى الزمن الذي تستغرقه دورة واحدة بالفترة أو بفترة الموجه .

الوحدة : ثانية (s)

الرمز : T

الفترة

والاهم من ذلك هو عدد الدورات التي تحدث في ثانية واحدة ويسمى ذلك بالتردد (Frequency)
 وسنرى فيما بعد بان التردد كمية اساسية في تحليل دوائر التيار المتناوب .

التردد الرمز: f الوحدة: هرتز (Hz)

ان وحدة التردد التي كانت مستعملة في ما مضى هي دورة بالثانية (c/s) ولا تزال الاخيرة مستعملة
 أحيانا . وينتج من تعريف الفترة والتردد :

$$T = \frac{1}{f} \quad (3.1)$$

تحتل الموجة الجيبية أهمية خاصة من بين كافة الكميات المتناوبة في الهندسة الكهربائية حيث أن معظم
 الفولتيات المتناوبة تتغير أما جيبياً أو ما يقارب ذلك . وحتى في حالة الموجات غير الجيبية نجد ان الكميات
 المتناوبة يمكن تقريبها الى كميات جيبية وستناقش التطبيقات العملية للموجات غير الجيبية في الفقرة 17.7

2.3 الموجات الجيبية (Sinusoidal waves)

الكمية المتناوبة الجيبية هي تلك الكمية التي يمكن تمثيلها انياً بدالة جيبية مع الزمن فمثلاً الفولتية
 المتغيرة جيبياً يمكن تمثيلها بـ

$$v = V_m \sin \omega t$$

حيث V_m و ω هما ثابتان مناسبان يمكن توضيح مضموئيهما كما يلي :
 ان القيمة العظمى ($\sin \omega t$) هي واحد . لذا فاك V_m يجب ان تكون القيمة العظمى للفولتية المتناوبة
 ويمثل الرمز m القيمة العظمى كما يلاحظ استعمال الحرف الصغير للفولتية الآتية .
 اما الثابت الثاني ω فيمثل معدل تناوب الفولتية . وان الوقت الذي تستغرقه دورة واحدة هو ωt ليكون
 تغيراً من الصفر الى 2π من الزوايا النصف قطرية . غير ان الزمن الذي تستغرقه دورة واحدة هو T
 من الثواني لذا :

$$\omega T = 2\pi$$

$$\therefore \omega = \frac{2\pi}{T}$$

من هذا المقدار يمكننا ملاحظة ان الثابت ω يجب ان يقاس بالزوايا نصف القطرية بالثانية ولذا يسمى
 بالتردد الزاوي (Angular Frequency)

التردد الزاوي الرمز: ω الوحدة: زاوية نصف قطرية بالثانية (rad s)

من العلاقة (3.1) ينتج :

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega = 2\pi f$$

وعند تعويض ذلك في المعادلة السابقة

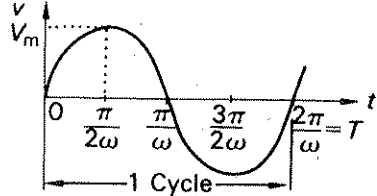
(3.2)

لذا يمكن ان يرمز للفولتية الجيبية

$$v = V_m \sin 2\pi ft$$

ويوضح الشكل 2.3 المخطط الموجي المناسب وبنفس الطريقة يمكن تمثيل التيار المتناوب —

$$i = I_m \sin \omega t$$



شكل 2.3 شكل الموجة لفولتية متناوبة جيبية

(3.3) قيم الذروة (Peak) وجذر متوسط التربيع ج . م . ب (r.m.s) والمتوسط (Mean)

للتيار المتناوب

التيار المتناوب يتغير من لحظة الى اخرى . لذا من الضروري ايجاد وسيلة لتمثيل القيمة الفعالة للتيار . ونظرا لان السبب الذي من اجله وجد التيار الكهربائي هو نقل الطاقة . ولان التيار هو معدل سريان الشحنة لذا فان القيمة الفعالة (Effective Value) للتيار يجب ان تكون مرتبطة بمعدل انتقال الطاقة وعليه فيالامكان تعريف التيار المتناوب بدلالة متوسط القدرة التي يسببها .

نفرض تيارا

$$i = I_m \sin \omega t$$

يمر بمقاوم R . ففي اي لحظة تكون القدرة P

$$p = i^2 R$$

ويمكن حساب القدرة المتوسطة (P) خلال فترة دورة واحدة

$$P = R \times (i^2 \text{ متوسط قيمة})$$

فإذا كانت القيمة الفعالة للتيار هي I

$$P = I^2 R$$

$$I^2 = (i^2 \text{ قيمة متوسط قيمة})$$

$$= (I_m^2 \sin^2 \omega t \text{ قيمة متوسط قيمة})$$

$$= I_m^2 \times (\sin^2 \omega t \text{ قيمة متوسط قيمة})$$

ونظراً لأن I_m ثابت :

$$I^2 = I_m^2 \times \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\omega t \text{ (متوسط قيمة)}$$

فإن متوسط قيمة الموجة الجيبية لفترة دورة واحدة تساوي صفراً نظراً لأن مساحة القوس الموجب للمنتحني تساوي مساحة القوس السالب .

$$I^2 = \frac{I_m^2}{2}$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

(3.3)

هذه القيمة الفعالة للتيار تسمى جذر متوسط التربيع (Root Mean Square)

ج . م . ت (r.m.s) ويحدث مثل ذلك بالنسبة للفولتية الجيبية $v = V_m \sin \omega t$,

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m$$

ويجب ان يلاحظ هنا ان الحروف الانكليزية الكبيرة مستخدمة لتمثيل قيمة ج . م . ت . والتي تكافئ قيمة التيار المستمر . وعليه فان تياراً مستمراً قيمته I ينتج في مقاومة نفس التأثير الحراري الذي ينتجه تيار متناوب قيمة ج . م . ت . له تساوي I

وفي دوائر التيار المتناوب تعطى الفولتيات والتيارات عادة بقيم ج . م . ت . مالم يبين خلاف ذلك . اضافة الى ان الكميات المتناوبة تفرض على انها جيبية مالم يذكر خلاف ذلك . لذا فان اجهزة القياس للتيار المتناوب على العدم معبرة (Calibrated) لقراءة قيم ج . م . ت . للكميات الجيبية المتناوبة . لقد حاولنا اختصار اشتقاق قيمة ج . م . ت . للقارئ الذي ليس له معرفة رياضية لتعلم التحليل الكامل وسندرج فيما يلي التحليل كاملاً لمن يرغب بمعرفته .

مرة اخرى $p = i^2 R$ ولدورة كاملة يكون متوسط القدرة .

$$\begin{aligned}
P &= \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} i^2 R \cdot dt \\
&= \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} I_m^2 R \cdot \sin^2 \omega t \cdot dt \\
&= \frac{I_m^2 R \omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\omega t \right) dt \\
&= \frac{I_m^2 R \omega}{2\pi} \left[\frac{t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4\omega} \right]_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \\
&= \frac{I_m^2 R \omega}{2\pi} \cdot \left(\frac{\pi}{\omega} - 0 + 0 - 0 \right) \\
&= \frac{I_m^2 R}{2}
\end{aligned}$$

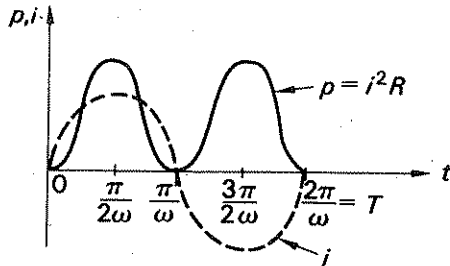
$$P = I^2 R$$

$$I^2 = \frac{I_m^2}{2}$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

كما لاحظنا سابقاً

وعليه تكون موجة القدرة كما في شكل 3:3



شكل 3:3 شكل موجة القدرة لتيار في مقاوم

ان متوسط القيمة للكمية المتناوبة الجيبية لدورة كاملة يساوي صفراً بسبب تناظر الموجة الا ان متوسط القيمة لنصف موجة هو $\frac{2}{\pi} \times$ قيمة الدورة. فيكون متوسط التيار الجيبى I_{av} كما يلي .

$$I_{av} = \frac{2}{\pi} \cdot I_m \quad (3.4)$$

وبرهان ذلك يحتاج الى رياضيات اخرى ويمكن للقارئ في هذه المرحلة قبول النتيجة التي سنصل اليها في نهاية البرهان التالي :

$$\begin{aligned} I_{av} &= \frac{\omega}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} i \cdot dt \\ &= \frac{\omega}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} I_m \cdot \sin \omega t \cdot dt \\ &= \frac{I_m \omega}{\pi} \left[\frac{-\cos \omega t}{\omega} \right]_0^{\frac{\pi}{\omega}} \\ &= \frac{I_m \omega}{\pi} \cdot \left(\frac{1+1}{\omega} \right) \\ I_{av} &= \frac{2}{\pi} \cdot I_m = 0.636 I_m \quad (3.5) \end{aligned}$$

ومثل ذلك للفولتية المتناوبة

$$V_{av} = \frac{2}{\pi} \cdot V_m = 0.636 V_m$$

لذا يمكن ربط متوسط القيمة مع ج . م . ت . بعامل يسمى عامل الشكل (Form factor) ورمزه (k_f)

$$\begin{aligned} k_f &= \frac{\text{قيمة ج . م . ت}}{\text{متوسط القيمة}} \\ &= \frac{0.707 I_m}{0.636 I_m} \\ k_f &= 1.11 \end{aligned}$$

لذا فان عامل الشكل للموجة الجيبية يساوي 1.11 وعامل الشكل لموجة مربعة يساوي 1 ولموجة مثلثة يساوي 1.15 .

هناك أجهزة سيطرة حديثة تنتج موجات ذات عوامل شكل عالية القيمة مثلاً 4 أو 5 وبهذا الصدد فان عامل الشكل يعطي فكرة عن حدة الذروة (Peakiness) لشكل الموجة . أما للموجات غير الجيبية فيمكن ايجاد متوسط قيم الكميات المتناوبة لفترة نصف موجة بقسمة المساحة تحت الموجة على طول القاعدة وبشكل مشابه فان قيمة ج . م . ت . تحسب برسم موجة لمربع القيم الآتية للكميات المتناوبة وبعد ذلك تحسب القيمة المربعة المتوسطة كما وصف اعلاه وتحسب قيمة جذر متوسط التربيع بأخذ الجذر التربيعي للقيمة المربعة المتوسطة .

مثال (1.3) المعادلة التي تربط التيار مع الزمن في دائرة ما هي :

$$i = 141.4 \sin 377t$$

حيث يقاس التيار بالأمبير والزمن بالثواني . أوجد أ-قيمة ج . م . ت . للتيار ب-التردد ج-القيمة الآتية للتيار حينما يكون الزمن 3 ملي ثانية .

$$i = I_m \sin \omega t = 141.4 \sin 377t$$

$$I_m = 141.4 \text{ A}$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{141.4}{\sqrt{2}} = 100.0 \text{ A}$$

$$2\pi f = \omega = 377 \text{ rad/s}$$

$$f = \frac{377}{2\pi} = 60 \text{ Hz}$$

$$t = 3.0 \text{ ms}$$

$$i = 141.4 \cdot \sin(377 \times 3 \times 10^{-3}) = 141.4 \sin 1.135$$

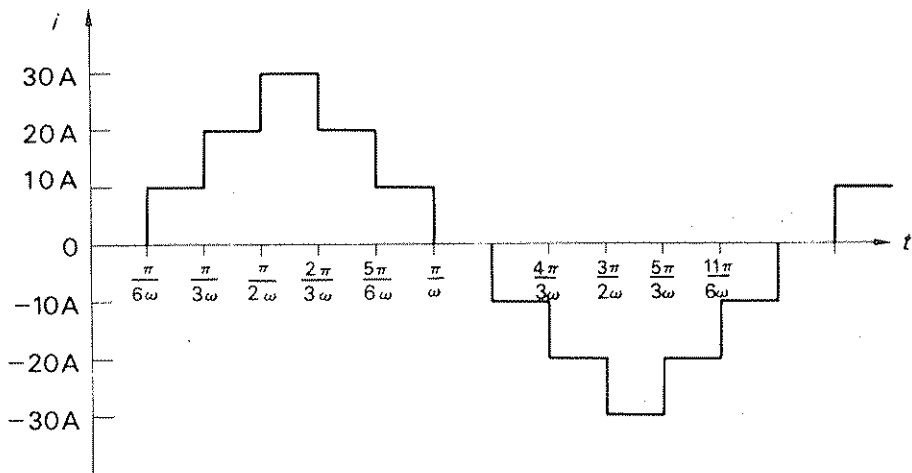
$$= 141.4 \sin 64.9^\circ$$

$$= \underline{128.9 \text{ A}}$$

مثال (2.3) تيار معين ذو قيم ثابتة لفترات زمنية متعاقبة كالآتي :

صفر و 10 و 20 و 30 و 20 و 10 و صفر و -10 و -20 و -30 و -20 و 10 و صفر وهكذا .

احسب قيمة ج . م . ت . للتيار وعامل الشكل .



شكل 4.3 جزء من المثال (2.3)

نظرا للتناظر في شكل الموجة فانه يكفي ان نحسب القيم لنصف موجة

$$I_{avr} = \frac{\text{المساحة تحت المنحني}}{\text{طول القاعدة}} = \text{متوسط التيار}$$

$$= \frac{0 \left(\frac{\pi}{6\omega} - 0 \right) + 10 \left(\frac{2\pi}{6\omega} - \frac{\pi}{6\omega} \right) + 20 \left(\frac{3\pi}{6\omega} - \frac{2\pi}{6\omega} \right) + 30 \left(\frac{4\pi}{6\omega} - \frac{3\pi}{6\omega} \right) + 20 \left(\frac{5\pi}{6\omega} - \frac{4\pi}{6\omega} \right) + 10 \left(\frac{6\pi}{6\omega} - \frac{5\pi}{6\omega} \right)}{\frac{\pi}{\omega} - 0}$$

$$= 15.0 \text{ A}$$

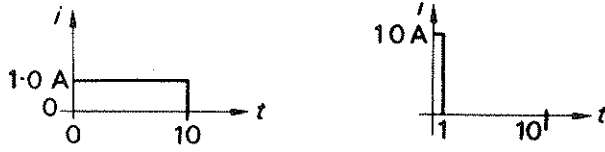
$$I^2 = \frac{0^2 \left(\frac{\pi}{6\omega} - 0 \right)^2 + 10^2 \left(\frac{2\pi}{6\omega} - \frac{\pi}{6\omega} \right)^2 + 20^2 \left(\frac{3\pi}{6\omega} - \frac{2\pi}{6\omega} \right)^2 + 30^2 \left(\frac{4\pi}{6\omega} - \frac{3\pi}{6\omega} \right)^2 + 20^2 \left(\frac{5\pi}{6\omega} - \frac{4\pi}{6\omega} \right)^2 + 10^2 \left(\frac{6\pi}{6\omega} - \frac{5\pi}{6\omega} \right)^2}{\frac{\pi}{\omega} - 0}$$

$$= 316$$

$$I = \sqrt{316} = 17.8 \text{ A}$$

$$k_f = \frac{I}{I_{avr}} = \frac{17.8}{15.0} = 1.19$$

مثال (3.3) أحسب عامل الشكل للموجات المبينة ادناه .



شكل 5:3 جزء من المثال (3.3)

$$I_{av} = \frac{1(10-0)}{10-0} = 1.0 \text{ A}$$

$$I_{av} = \frac{10(1-0) + 0(10-1)}{10-0} = 1.0 \text{ A}$$

$$I = \left(\frac{1^2(10-0)^2}{10-0} \right)^{\frac{1}{2}} = 1.0 \text{ A}$$

$$I = \left(\frac{10^2(1-0)^2 + 0^2(10-1)^2}{10-0} \right)^{\frac{1}{2}} = 3.16 \text{ A}$$

$$k_f = \frac{I}{I_{av}} = \frac{1.0}{1.0} = 1.0$$

$$k_f = \frac{I}{I_{av}} = \frac{3.16}{1.0} = 3.16$$

نلاحظ بان شكل الموجة الاولى يمثل تيارا مستمرا قيمة ج . م . ت . له ومتوسطه متساويان . ولهذا السبب نجد ان قيمة ج . م . ت . للتيار المتناوب يمكن ان تساوي قيمة المتوسط للتيار المستمر

4:3 مخططات المتجه والمركب والطوري (Phasor و Complexor و Vector)

الكمية المتجهة هي تلك التي لها قيمة واتجاه في نقطة ما في الفراغ ويمكن تمثيلها في مخطط بواسطة خط يرسم باتجاه وطول مناسبين لاتجاه ومقدار تلك الكمية . تدرس المتجهات في معظم الكتب الاولية للرياضيات . ولهذا سنفترض ان القارئ على اطلاع بالمتجهات اما الذين لم يطلعوا على هذه الكميات في كتب الرياضيات فربما استعملوا المتجهات لحل مسائل القوى الميكانيكية . كل كمية كهربائية لها اتجاه يمكن تمثيلها بمتجه . الا ان كافة الكميات التي نوقشت لحد الآن ليست متجهة حيث لها مقادير فقط .

ان استعمال المركبات هو احد السبل التحليلية المفيدة والمتوفرة بالنسبة للمهندس الكهربائي . وهذه الكمية غير المتجهة والتي يمكن تمثيلها بشكل مشابه للمتجه تختلف عن المتجهات باختلاف جوهرى . حيث ان المركب يرسم بمرجع زاوي او احداثي بالنسبة الى خطوة محددة

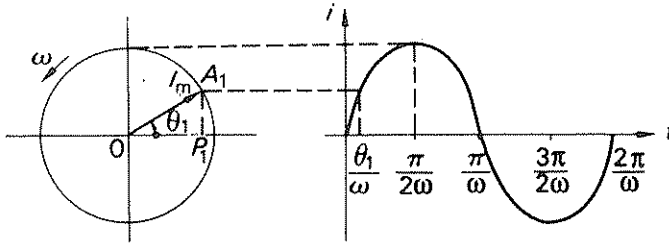
وسنبين في الفصل الثامن ان المركبات يمكن تعريفها بشكل اعداد مركبة (Complex Numbers) ومن ذلك اشتق الاسم .

اذا دور المركب حول احدى نهايتيه في مستوى الرسم بسرعة زاوية ثابتة . فان مسقطه الهندسي على المرجع يتغير جيبيًا . وهذه العملية يمكن ان تعكس لكي يمثل المركب فولتية او تيارا متناوبا جيبيًا بالضبط اكثر من تمثيلها بمخطط مناسب لشكل الموجة .

فلنفرض المركب OA يدور بسرعة زاوية ثابتة ω كما مبين في شكل 6-3 فاذا قيس الزمن من اللحظة التي يكون فيها OA افقياً وعلى وشك الدوران في الربع الأول . ولنفرض OA_1 هو وضع عشوائي لـ OA بعد مضي t من التواني فانه ينتج ان OA_1 يصنع زاوية مقدارها θ مع الاحداثي الافقي . ومن اكمال الشكل نجد ان

$$\frac{A_1 P_1}{OA_1} = \sin \theta_1$$

حيث P_1 هو مسقط A_1 على الخط الافقي .
واذا اعيدت العملية بفترات منتظمة ورسمت القيم الناتجة العائدة الى $A_1 P_1$ مع الزمن فان المنحني يكون موجة جيبية .



شكل (6-3) استخراج الموجة الجيبية من المركب

ان الزاوية θ المكنسحة (swept) بالمركب OA هي $\theta = \omega t$. وعندما $\theta = 2\pi$ يكون الرسم قد اكمل موجة جيبية واحدة وسنرى بأن الطول OA يمثل القيمة العظمى للكمية الجيبية .

نلاحظ ان دوران المركب في الحالة اعلاه يعتمد على الزمن وان اي مركب كالفولتية او التيار المشق من كمية تتغير جيبياً مع الزمن تسمى بالطوري لذا فان OA في شكل 6-3 هو طوري .
تحلل دوائر التيار المتناوب بدلالة العلاقة بين الطوريات التي تمثل كميات فيزيائية مختلفة كالتيار والفولتية وهذه المقادير الاخيرة نفس التردد الزاوي ولذا ليس هناك حركة نسبية بين الطوريات وعليه يمكن تمثيلها بشكل مخطط آني ثابت مع اهمال الدوران الزاوي المعتاد . ان مخططاً كهذا يدعى بالمخطط الطوري ويرمز عادة للطوري بحروف انكليزية مائلة أو بوضع نقطة أو خط فوق الرمز الذي يمثله وفي هذا الكتاب سيمثل الحرف i طوري التيار و v مقدار التيار فقط .

من الضروري أن نفهم بوضوح الاختلاف بين المتجهات والمركبات والطوريات حيث أن المتجه له إحداثيات فراغية بينما الطوري مشتق من التغير الجيبي الزمني . فالمخطط الطوري للفولتية مثلا هو ليس مخططاً متجهياً .

في التحليلات التي سبقت افترض ان اي كمية متناوبة هي بشكل

$$i = I_m \sin \omega t.$$

وهنا يشترط أن يكون $i = 0$ صفر في اللحظة $t = 0$ = صفر الا انه من المحتمل جداً أن تمتلك الكمية مقداراً في $t = 0$ = صفر ولنفرض $i = I_m \sin(\omega t + \phi)$ عندما $t = 0$ = صفر ولذا يكون المقدار العام للتيار ممثلاً بالمعادلة .

$$i = I_m \sin(\omega t + \phi) \quad (3.7)$$

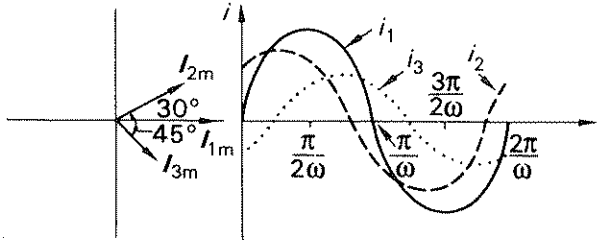
حيث تعني ϕ زاوية الطور وتمثل دوران الطوري من الاحداثي الافقي حينما تكون $t = 0$ صفراً لغرض توضيح العلاقة بين المعادلة (3.7) والمتجهات المعنية لفرض التيارات التالية

$$i_1 = I_{1m} \sin(\omega t)$$

$$i_2 = I_{2m} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

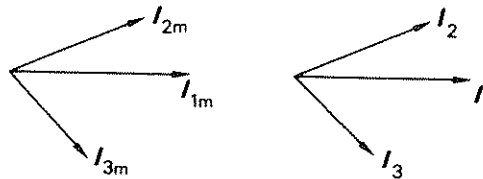
$$i_3 = I_{3m} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right)$$

يمثل الشكل 7.3 المخطط الطوري الآتي لهذه التيارات والمتجهات العائدة لها . وقد رسم المخطط في اللحظة $t = 0$ صفراً . كما انه من المسموح رسم الطوريات الثلاثة في شكل واحد نظراً لتساوي التردد الزاوي



شكل 7.3 تيارات جيبية ذات تردد واحد

كان من الممكن ان نرسم الشكل بمقياس متناسب مع قيم ج . م . ت . بدلا من ان نرسم المخطط الطوري بمقياس منسوب للقيم العظمى نظراً لوجود علاقة ثابتة بين القيمة العظمى وقيمة ج . م . ت . فالشكل الذي يمثل قيم ج . م . ت . يمكن ان يرسم بنفس الوضع كالمخطط الطوري الآتي العائد لـ $t = 0$ صفراً . ونشاهد في الشكل 8.3 مقارنة بين المخططين . نظراً لان معظم المخططات الطورية تمثل قيم ج . م . ت . فان الاصطلاح ج . م . ت . يمكن ان يهمل للسهولة . لذا يمكن افتراض أي اشارة للمخطط الطوري بالمستقبل تعني استعمال قيم ج . م . ت . مع احتفاظ القيم الانية للمخطط الطوري بمفاهيمها السابقة .



شكل 8.3 مخططات الطوري الآتي وطوري ج . م . ت .

في المخطط الطوري المبين في شكل 8:3 تمثل الطوريات بـ I_3, I_2, I_1 وهذا يعود الى نفس الاعتبارات التوضيحية السابقة.

علينا ان نلاحظ ان المخططات الطورية الآتية وحدها تدوركي ترسم اشكالا موجية وان نتذكر دائما بان مخططات قيم ج. م. ت. لايمكن ان تدور لهذا الغرض . نظراً لأنها تمثل القيم الفعالة للكيمات المتناوبة .

فالمخططات الطورية هي فعلا مخططات مركبة ولكن لأن قيم ج. م. ت. مرتبطة بالقيمة العظمى لذا اصبح من المتعارف عليه استعمال عبارة مخطط طوري لها . ومن هذه العلاقة الوثيقة ينتج منها ما يلي :

- 1- الروايات الطورية بين الطوريات في مخطط طوري تمثل الترتيب الذي تصل بموجبه الكميات المختلفة قيمها العظمى . ففي الشكل 6:3 يكون الترتيب I_3, I_1, I_2 نظراً لان I_2 يصل ذروته قبل I_3, I_1 فيقال عنه انه يسبق (lead) كل من التيارين الآخرين وكذلك يقال ان I_1 يسبق I_3 . لاحظ بأن I_2 يسبق I_1 بـ 30 و I_2 يسبق I_3 بـ 75 و I_1 يسبق I_3 بـ 45 .
- 3- نظراً لان I_3 يصل ذروته بعد I_1 و I_2 يقال عنه انه يتخلف عن (lag) التيارين الاخرين وكذلك يقال عن I_1 انه يتخلف عن I_2 . لاحظ ان I_3 يتخلف عن I_2 بـ 75 و I_3 يتخلف عن I_1 بـ 45 و يتخلف عن I_2 بـ 30 .
- 4- تسمح زاوية الطور لايجاد الفترة الزمنية بين لحظات الذروة لذا فان I_2 يسبق I_3 بـ

$$\frac{\frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{4}}{\omega} = \frac{5\pi}{12\omega} \quad (\text{ثانية})$$

وفي كل حالة تستحصل المعلومات من اي من المخططين بالرغم من ان الارقام اعلاه تعود الى طوريات ج. م. ت.

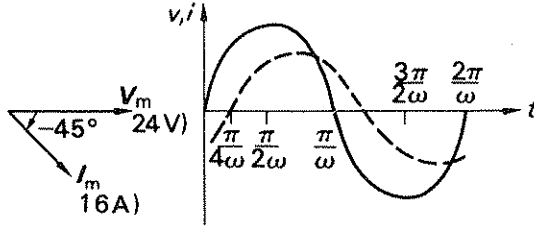
في المناقشة السابقة استخدم التيار كمتال . غير ان بالامكان تطبيق تلك المناقشة على اي كمية متناوبة اخرى . ولكن في تحليل الشبكات الكهربائية بصطلح عادة على زاوية الطور ϕ على انها فرق الطورين الفولتية والتيار الا انه من الضروري الإشارة فيما اذا كان التيار يسبق ام يتخلف عن الفولتية

مثال (4:3) فولتية متناوبة جيبية قيمة ذروتها 24 فولت سلطت على دائرة فولدت تياراً قيمته العظمى 16 امبير اذا علمت ان هذا التيار الجيبي يتخلف عن الفولتية بـ 45 . ارسم اشكال موجات الفولتية والتيار بعلاقات طورية ملائمة لدورة كاملة

اذا اخذنا الفولتية كمرجع $v = V_m \sin \omega t = 24 \sin \omega t$

كذلك $i = I_m \sin(\omega t + \phi) = 16 \sin(\omega t - 45^\circ)$

من هذه المعادلات يمكن رسم المخطط الطوري الآتي وبعده شكل الموجة كما مبين في الشكل 9.3



شكل 9.3

مثال 5.3 في دائرة للتيار المتناوب وجد ان الفولتية ذات ذروة تساوي 340 فولت وان ذروة التيار 14.1 امبير وفي لحظة ما اخذت على انها $t = 0$ صفر كانت قيمة الفولتية الآتية 240 فولت . وفي نفس اللحظة كانت قيمة التيار 5 امبير . فاذا كان تردد المصدر 50 هرتز . اشتق العلاقة للقيم الآتية للتيار والفولتية .

احسب القيم الآتية للفولتية والتيار حينما $t = 5$ ملي ثانية ثم اوجد زاوية الطور بين الفولتية والتيار . نظرا لعدم تحديد اشكال الموجات لذلك نفترض ان الكميات المتناوبة جيبيه .

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 314 \text{ rad/s}$$

ان معادلة الفولتية هي :

$$v = V_m \sin(\omega t + \theta)$$

$$V_m = 340 \text{ V and } \omega = 314 \text{ rad/s}$$

$$v = 340 \cdot \sin(314t + \theta)$$

$$t = 0, v = 240 \text{ V}$$

$$240 = 340 \cdot \sin \theta$$

$$\sin \theta = \frac{240}{340} = 0.707$$

$$\theta = 45^\circ$$

ولكن
وعليه
في الزمن

لذا

يؤخذ الحل الاول فقط

$$v = 340 \cdot \sin(314t + 45^\circ)$$

سنجد ان هذا الحل قد اعطى حلا باستخدام المثلثات يحوى قياسات بالزوايا النصف قطرية مع القياسات بالدرجات

وبشكل مشابه

$$i = I_m \sin(\omega t + \beta) = 14.1 \sin(314t + \beta)$$

$$t = 0, i = 5.0 \text{ A,} \quad \text{عندما}$$

$$5.0 = 14.1 \sin \beta \quad \text{فان}$$

$$\sin \beta = \frac{5.0}{14.1}$$

$$\beta = 20.6^\circ$$

$$i = 14.1 \sin(314t + 20.6^\circ)$$

$$t = 5.0 \text{ ms} \quad \text{في الزمن}$$

$$v = 340 \sin(314 \times 5 \times 10^{-3} + 45^\circ)$$

$$= 340 \sin(1.57 + 45^\circ)$$

$$1.57 \text{ rad} = 1.57 \times \frac{180}{\pi} = 90^\circ \quad \text{لكن}$$

$$v = 340 \sin(90^\circ + 45^\circ) = 240 \text{ V}$$

$$i = 14.1 \sin(314 \times 0.005 + 20.6^\circ) = 14.1 \sin(90^\circ + 20.6^\circ) \quad \text{كذلك}$$

$$= 13.3 \text{ A}$$

ان زاوية الطور بين الفولتية والتيار تساوي

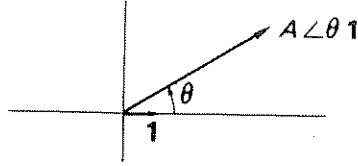
$$\phi = \theta - \beta = 45^\circ - 20.6^\circ = 24.4^\circ$$

لذا يتضح أن الفولتية تسبق التيار ولكن عادة ينسب التيار للفولتية فيقال أن زاوية الطور متخلفة 24.4

$$\phi = 24.4^\circ \text{ lag}$$

5.3 التوصيف القطبي (polar Notation)

التوصيف القطبي هو احد انواع التوصيفات التي تعرف المركب وصيغته العامة $A \angle \theta$ حيث A هي وحدة خطوة مرجعية (unit reference step) و θ وحدة الخطوة المرجعية هي وحدة ذات طول يساوي واحد في اتجاه معين اما القيمة A فتستعمل لتغيير الطول واما الزاوية θ فهي تلك الزاوية التي يدور بها المركب ونظراً لأن وحدة الخطوة المرجعية تؤخذ بالاتجاه الاقضي من اليسار الى اليمين لذا يمكن حذفها مع تذكر وجودها دائماً وسنمر على تأثيرها بشكل واضح في الفصل الثامن . يمكن بصورة عامة تمثيل الكميات المركبة بالصيغة $A \angle \theta$ حيث A هي مقدار الكمية و θ هي زاويتها والشكل 10-3 يوضح ذلك ان شكلاً يرسم باستعمال الاحداثيات المبنية في شكل 10.3 يسمى مخططاً مركبياً (Argand or Complexor Diagram) لذا فان اي كمية ممثلة في هذا الشكل بصورة عامة هي كمية مركبة الا اذا كان موقعها يمثل زمناً نسبة الى معطيات معينة فتسمى عندئذ طورى (Phasor) وتمثل وحدة الخطوة المرجعية لحظة من الزمن عدا حالة المخطط الطوري لـ ج. م. ت . فان هذا الشرط لا يتحقق ولكن العلاقات الطورية تبقى صحيحة .



شكل 10-3 مخطط قطبي

يمكن ضرب وقسمة الطوريات كما يلي :

$$A \angle \theta_1 \times B \angle \theta_2$$

ان ذلك يعطي كمية جديدة مقدارها AB بينما زاويتها تساوي مجموع الزاويتين لأن الكمية الكلية تمثل الزاوية التي يجب أن يتم الدوران بها حيث تدور زاوية مقدارها θ_1 ثم θ_2 . لذا

$$A \angle \theta_1 \times B \angle \theta_2 = AB \angle \theta_1 + \theta_2$$

وبنفس الطريقة

$$\frac{A \angle \theta_1}{B \angle \theta_2} = \frac{A}{B} \angle \theta_1 - \theta_2$$

في مثل هذه العمليات ان وحدة الخطوة قد حذفت ولكن لو استعملت فان الكميات اعلاه تصحح

$$A \angle \theta_1 \cdot 1 \times B \angle \theta_2 \cdot 1 = AB \angle \theta_1 + \theta_2 \cdot (1)^2$$

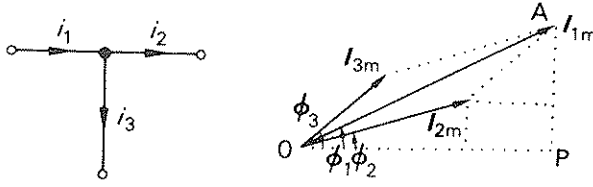
$$\frac{A \angle \theta_1 \cdot 1}{B \angle \theta_2 \cdot 1} = \frac{A}{B} \angle \theta_1 - \theta_2$$

ففي الحالتين نجد أن المفهوم الاولي لوحدة الخطوة قد نقض . حيث لا يظهر في الحالة الثانية بنانا لذا يمكننا أن نقول أن الضرب والقسمة للطوريات ينتج كميات مركبة ولكنها غير طورية وسيوضح ذلك بشكل اعمق في الفصل السابع .

6-3 استعمال قانوني كرشوف في دوائر التيار المتناوب

ينص قانون كرشوف الاول على أن مجموع التيارات المتجهة الى مفترق في دائرة كهربائية يساوي مجموع التيارات الخارجة من ذلك المفترق .

ففي المفترق المبين في شكل 11-3



شكل 11.3 تطبيق قانون كيرشوف الاول على دائرة تيار متناوب

$$i_1 = i_2 + i_3$$

$$i_2 = I_{2m} \sin(\omega t + \phi_2) \text{ نفرض}$$

$$i_3 = I_{3m} \sin(\omega t + \phi_3) \text{ وكذلك}$$

وهذان التياران هما تياران جيبيان ولنفس التردد . وهذه الفرضية معقولة نظراً لان معظم دوائر التيار المتناوب لها نفس التردد .

$$\begin{aligned} i_1 &= I_{2m} \sin(\omega t + \phi_2) + I_{3m} \sin(\omega t + \phi_3) \\ &= I_{2m} \sin \omega t \cdot \cos \phi_2 + I_{2m} \cos \omega t \cdot \sin \phi_2 + I_{3m} \sin \omega t \cdot \cos \phi_3 \\ &\quad + I_{3m} \cos \omega t \cdot \sin \phi_3 \\ &= (I_{2m} \cos \phi_2 + I_{3m} \cos \phi_3) \sin \omega t + (I_{2m} \sin \phi_2 + I_{3m} \sin \phi_3) \cos \omega t \\ &= \sqrt{(I_{2m} \cos \phi_2 + I_{3m} \cos \phi_3)^2} \\ &\quad + (I_{2m} \sin \phi_2 + I_{3m} \sin \phi_3)^2} \sin(\omega t + \phi_1) \end{aligned} \quad (3.8)$$

$$\phi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{I_{2m} \sin \phi_2 + I_{3m} \sin \phi_3}{I_{2m} \cos \phi_2 + I_{3m} \cos \phi_3} \right) \quad \text{حيث} \quad (3.9)$$

الطوريات الآتية I_{3m} I_{2m} التي تمثل i_3 و i_2 موسومة في شكل 11.3 ويمثل I_{1m} مركب المجموع لـ I_{2m} و I_{3m} . من الواضح . من الشكل 11.3

$$\begin{aligned} OA^2 &= OP^2 + PA^2 \\ &= (I_{2m} \cos \phi_2 + I_{3m} \cos \phi_3)^2 + (I_{2m} \sin \phi_2 + I_{3m} \sin \phi_3)^2 \\ &= I_{1m}^2 \\ I_{1m} &= \sqrt{(I_{2m} \cos \phi_2 + I_{3m} \cos \phi_3)^2 + (I_{2m} \sin \phi_2 + I_{3m} \sin \phi_3)^2} \end{aligned}$$

لذا فان قيمة OA تمثل I_{1m} وكذلك I_1 تمثل زاوية الطور I_{1m} .
ان هاتين النتيجةين من المخطط تشابهان العلاقتين (3:8) و (3:9) وينتج منهما ان OA هو المركب
المجموع لـ I_{2m} و I_{3m} اضافة الى ان المخطط يمثل العلاقة .

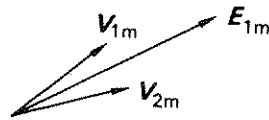
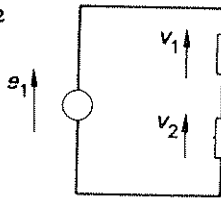
$$I_{1m} = I_{2m} + I_{3m}$$

وبذلك نكون قد حصلنا على طريقة لجمع الطوريات الآتية والتي تطبق على أي عدد من الفروع في
مفتوح معين . ويمكن تعميم النتيجة لتشمل الطوريات الممتلئة لـ ج. م. ت . اضافة الى الطوريات
الآتية أي

$$I_1 = I_2 + I_3$$

أما قانون كرشوف الثاني فينص على انه في أي لحظة يكون مجموع القوى الدافعة الكهربائية حول دارة
مقفلة مساويا لمجموع الجبوبات في الفولتية . ففي الدائرة المبينة في شكل 12.3 ينتج

$$e_1 = v_1 + v_2$$



شكل 12.3 تطبيق قانون كرشوف الثاني على دائرة تيار متناوب

وبنفس الطريقة المشروحة اعلاه يمكن رسم المخطط الطوري الآتي كما موضح في شكل 12.3 وهذا
المخطط يوضح العلاقة .

$$E_{1m} = V_{1m} + V_{2m}$$

وأخيرا بدلا من استعمال القيم الآتية للطوريات يمكن استخدام قيم الج. م. ت . وبعدها يرسم
المخطط الذي يمثل .

$$e_1 = v_1 + v_2$$

ان مايجب ملاحظته ان الطوريات فقط هي التي يمكن جمعها بشكل مركب شرط انها تمثل كميات
كلها جيبية ولها نفس التردد .

مثال (6.3) دائرة تحتوي على أربعة احمال مربوطة على التوالي . وغير هذه الاحمال توجد
الفولتيات المعبر عنها بالمعادلات التالية مقاسة بالفولت .

$$v_1 = 50 \sin \omega t$$

$$v_2 = 25 \sin (\omega t + 60^\circ)$$

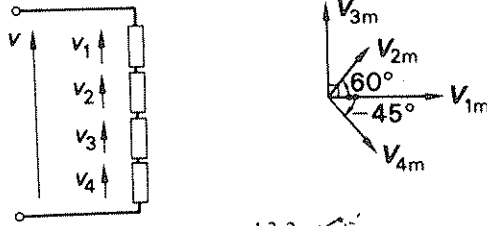
$$v_3 = 40 \cos \omega t$$

$$v_4 = 30 \sin (\omega t - 45^\circ)$$

احسب فولتية المصدر واعطها بنفس الصيغة اعلاه .

المخطط الطوري الآتي مبين في شكل 13.3 ويمكن جمع الفولتيات مركبياً كما يلي
ولاحظ ان

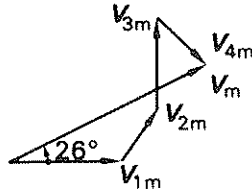
$$v_3 = 40 \cos \omega t = 40 \sin (\omega t + 90^\circ)$$



شكل 13.3

$$v = 93 \sin (\omega t + 26^\circ)$$

من الشكل 14.3



شكل 14.3

يمكننا التوصل للحل أيضا بطريقة تحليلية حيث نحلل الطوريات الى مكوناتها (Components) الأفقية والعمودية.

$$\begin{aligned} V_m \cos \phi &= V_{1m} \cos \phi_1 + V_{2m} \cos \phi_2 + V_{3m} \cos \phi_3 + V_{4m} \cos \phi_4 \\ &= 50 \times \cos 0^\circ + 25 \times \cos 60^\circ + 40 \times \cos 90^\circ + 30 \times \cos -45^\circ \\ &= 83.7 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_m \sin \phi &= V_{1m} \sin \phi_1 + V_{2m} \sin \phi_2 + V_{3m} \sin \phi_3 + V_{4m} \sin \phi_4 \\ &= 50 \times \sin 0^\circ + 25 \times \sin 60^\circ + 40 \times \sin 90^\circ + 30 \times \sin -45^\circ \\ &= 40.4 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_m &= (V_m^2 \cos^2 \phi + V_m^2 \sin^2 \phi)^{\frac{1}{2}} = (83.7^2 + 40.4^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= 93.0 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\sin \phi = \frac{V_m \sin \phi}{V_m} = \frac{40.4}{93.0} = 0.435$$

$$\phi = 25.6^\circ$$

$$v = 93 \sin (\omega t + 25.6^\circ)$$

لذا

مارا بالنقاط . ثم استعمل طريقة منتصف الاحداثيات لايجاد :

أ- معدل التيار

ب- قيمة ج. م. ت.

قاعدة الزمن بالدراجات صفر 20, 40, 60, 80, 100, 110, 120, 140, 160, 180
التيار بالامبيرات صفر 15, 24, 35, 54, 68, 70, 64, 35, 12 صفر
33.5 A, 39.9 A

9- النصف الموجب من موجة تيار متناوب متناظرة كما يلي :

الزمن (ملي ثانية) صفر - 2 6 - 2 8 - 6

التيار ازدياد منتظم من ثابت على قيمة نقصان منتظم من
الصفر الى واحد امبير امبير واحد امبير واحد الى الصفر
ارسم بمقياس مناسب موجة التيار لدورة واحدة . ثم اوجد قيمة ج. م. ت. له

0.79 A

10- مقاوم يسحب 14.14 امبير من مصدر 240 فولت . اذا علمت ان كلا من الفولتية والتيار جيبي . ارسم منحني للتيار والفولتية والقدرة لدورة واحدة . ثم اوجد معدل القدرة من المنحنى الذي يمثلها .

3.39 kW

11- حمل حثي (Inductive Load) يسحب تيارا قيمته 70.7 امبير بعامل قدرة (Power Factor) 0.5 متخلف من مصدر جيبي ذي فولتية مقدارها 120 فولت . ارسم منحنيات الفولتية والتيار والقدرة لدورة واحدة . ثم اوجد معدل القدرة من تحليل موجة القدرة

4.24 kW

12- الهبوطات في الفولتية في دائرة متوالية يمثل بـ

$$v_1 = 100 \sin \omega t$$

$$v_2 = 100 \cos \omega t$$

اجمع هاتين الفولتيتين مركبيا ومثل الفولتية الناتجة بصيغة

$$v = V_m \sin (\omega t \pm \phi).$$

$$141.4 \sin (\omega t + 45^\circ) \text{ V}$$

13- الفولتية الالمانية عبر كل من الاربع ملفات مربوطة على التوالي تمثل بـ

$$v_1 = 100 \sin 471t$$

$$v_2 = 250 \cos 471t$$

$$v_3 = 150 \sin (471t + \pi\sqrt{6})$$

$$v_4 = 200 \sin (471t - \pi\sqrt{4})$$

اوجد فرق الجهد الكلي ممثلا النتيجة بصيغة مشابهة . ما قيمة فرق الجهد الناتج اذا عكست قطبية v_2

$$414 \sin (471t + 26.5^\circ); \quad 486 \sin (471t - 40.0^\circ)$$

14. اجمع الفولتيات التالية مركبيا

$$v_a = 100 \sin (\omega t - 45^\circ)$$

$$v_b = 50 \sin (\omega t + 30^\circ)$$

$$v_c = 60 \cos \omega t$$

$$115 \sin (\omega t + 7^\circ)$$

15. برسم المركبات بمقياس مناسب . اجمع الفولتيات التالية :

$$v_1 = 50 \sin \omega t$$

$$v_2 = 25 \sin (\omega t + 60^\circ)$$

$$v_3 = 40 \cos \omega t$$

$$v_4 = 30 \sin (\omega t - 45^\circ)$$

$$94 \sin (\omega t + 25^\circ)$$

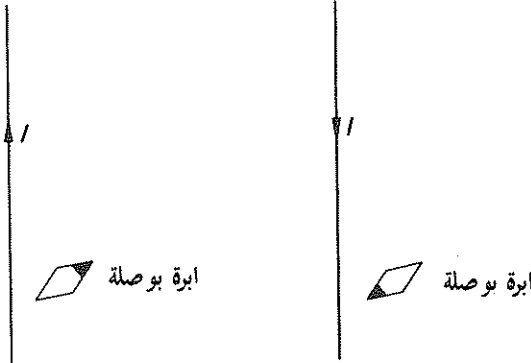
الفصل الرابع

عناصر الكهر ومغناطيسية

الكهر ومغناطيسية هي دراسة وضعية المجالات المغناطيسية بامرار التيارات الكهربية خلال منظومه من الموصلات . وهذه الدراسة مهمة في المرحلة الاولى لأنها تنتج تفهماً واضحاً لمعظم المكنائ الكهربية اضافة الى أنها مهمة عند دراسة الدوائر الالكترونية وبالاحص في الاتصالات .
يهدف هذا الفصل الى تعريف المصطلحات لنظرية الكهر ومغناطيسية اللازمة لفهم مبادئ الهندسة الكهربية وستترك التطبيقات العملية على الدوائر المغناطيسية وما ينتج منها والتي تهتم المهندس الى الفصل الخامس .

1-4 استعراض المجال المغناطيسي وقطبيته (Polarity)

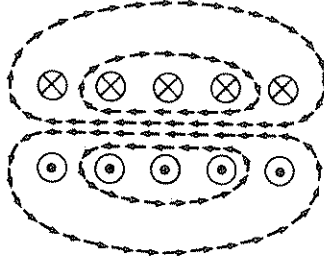
اذا مر تيار كهربي خلال موصل طويل . ثم وضعت بوصلة قريباً من هذا الموصل وجد بأنه عند بدء امرار التيار فان ابرة البوصلة تنحرف . كما وجد بأن اتجاه هذا الانحراف يعتمد على اتجاه سريان التيار كما موضح في الشكل 1-4 .



شكل 1-4 انحراف اتجاه ابرة بوصلة ناتج من مرور تيار كهربي

ان الحيز المحيط بالموصل والذي يمكن فيه ملاحظة هذا التأثير يدعى بالمجال المغناطيسي للموصل . كما تدعى القوة المسببة لانحراف ابرة البوصلة بالقوة المغناطيسية .
واذا قمنا بتجربة تحريك بوصلة بشكل مستمر باتجاه قطبها الشمالي يمكن الحصول على صورة للمجال المغناطيسي . واذا ما اجري ذلك دون أي انحراف بابرة البوصلة حصلنا على ممر كامل يشكل دائرة حول

الموصل ويقال عن هذا الممر بأنه يوصل * (link) الموصل .



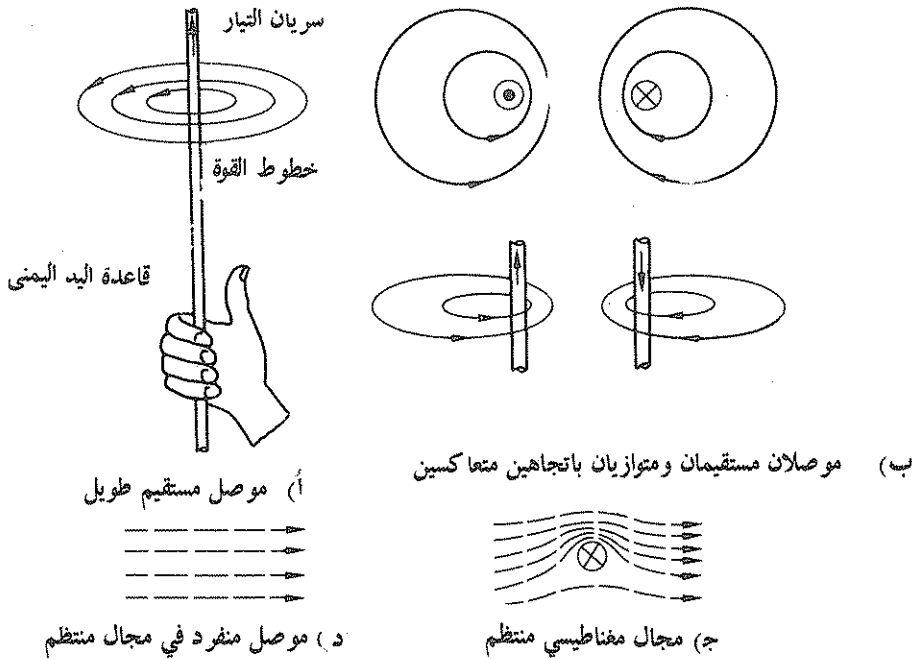
شكل 2.4 موضع البوصلة في مستوى محوري ملف بسيط

لنفرض تجربة أخرى يؤخذ فيها المجال حول محور ملف بدلا من دراسة المجال لموصل مستقيم . يبين الشكل 2.4 مقطع عرضي للملف وقد تم تأشير اتجاه التيار بالاصطلاحين نقطة وعلامة ضرب ، فالنقطة تشير الى أن التيار يخرج من مستوى الورقة بينما تبين علامة الضرب ان التيار يدخل مستوى الورقة فان النقطة تمثل مقدمة السهم ، بينما علامة الضرب تمثل نهاية السهم الممثل للتيار المغادر . وقد رسمت تأشيرات البوصلة في الشكل أيضاً . مما يلاحظ ان الممرات الناتجة متقاربة في مركز الملف ، حيث تكون القوة على ابرة البوصلة أشد ما يمكن . وسنشير في المستقبل الى هذه الممرات بخطوط يكون اتجاهها هو نفس اتجاه القطب الشمالي لأبرة البوصلة كما تشير المسافة بينهما الى شدة القوة على ابرة البوصلة تسمى هذه الممرات خطوط التدفق « (lines of flux) » ويبين الشكل 3.4 نموذجاً لمظاهر المجال بترتيبات مختلفة من الموصلات الحاملة للتيار والتي يمكن منها الحصول على بعض خواص خطوط التدفق التالية :

1. في مجال كهرومغناطيسي يشكل كل خط من خطوط المجال المغناطيسي دائرة كاملة حول موصل واحد حامل للتيار على الأقل ، ويقال عنه انه يوصل (Link) . وهذا يحدث وصلية التدفق (Flux Linkage)
 2. يكون اتجاه الخطوط بنفس اتجاه القوة المسلطة على القطب الشمالي لأبرة بوصلة موضوعة في نقطة ما في المجال الكهرومغناطيسي .
 3. لا تتقاطع خطوط التدفق بتاتا ، نظراً لأن محصلة القوة في أي نقطة في المجال الكهرومغناطيسي لها اتجاه واحد .
- خط المجال المغناطيسي هو اصطلاح مفيد لتمثيل المجال المغناطيسي ، الا ان من الضروري ان نتذكر ان هذه الخطوط ليس لها وجود حقيقي وانها خيالية .

اصطلاح link قد ترجم هنا بكلمة يوصل أو يربط ويعني أن خطوط المجال المغناطيسي تحيط بالموصل وبدا تشكل حلقة وصل أو حلقات وصل حوله
 • ترجم كلمة Flux احياناً بكلمة فيض
 (المترجمان)

ومن المفيد أيضاً أن نتذكر بعض القواعد التي تربط اتجاه المجال مع اتجاه سريان التيار . فاحدى هذه القواعد هي قاعدة اليد اليمنى . فاذا ما امسكنا الموصل باليد اليمنى بطريقة بحيث يشير الابهام الى اتجاه سريان التيار كانت بقية الأصابع مشيرة الى اتجاه خطوط المجال حول الموصل كما موضح في شكل 3-4 أ



شكل 3-4 نموذج خطوط القوة في مجال كهربو ومغناطيسي

2-4 التدفق المغناطيسي وكثافة التدفق (Flux Density)

ان محصلة التأثير المغناطيسي لمنظومة والتي تمثل خطوط التدفق المغناطيسي تدعى بالتدفق المغناطيسي الوصلي للمنظومة . ووحدة التدفق المغناطيسي هي الويبر (Weber)
التدفق المغناطيسي الرمز : Φ الوحدة: وبيبر (Wb)

عندما يتحرك موصل في مجال مغناطيسي تتولد فيه ق . د . ك . وسيناقش هذا المفهوم المهم في الفقرة 4.4 فيما بعد ، لكنه ذو أهمية في تعريف الويبر . حيث يعرف بأنه التدفق الذي اذا قطع بموصل في ثانية واحدة يولد ق . د . ك . بمعدل فولت واحد في ذلك الموصل . على أي حال فان التدفق لا يعطي فكرة دقيقة عن تركيز المجال ، لذلك نجد من الأهمية بمكان معرفة ذلك

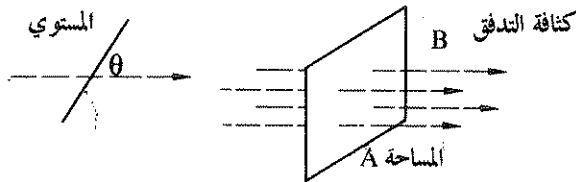
بدلالة كثافة المجال لأسباب ستوضح فيما بعد . وتعرف كثافة المجال B على أنها التدفق Φ المار بانتظام وبصورة اعتيادية أي بزواوية قائمة خلال سطح مساحته A . وتكون كثافة التدفق في كل نقطة على السطح كما يلي :

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (4.1)$$

$$\Phi = BA \quad (4.2)$$

كثافة التدفق **الرمز: B** **الوحدة: تيسلا (T)**

وقد كانت الوحدة المستخدمة فيما مضى هي وبير لكل متر مربع (Wb/m^2) ولا تزال موجودة في المؤلفات القديمة .



(أ) تدفق عمودي على المستوى (ب) تدفق بزواوية θ مع المستوى
شكل 4-4 تأثير الزاوية بين المستوي واتجاه التدفق

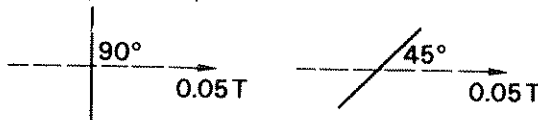
يبين الشكل 4-4 أ مستوى يقطع المجال بزواوية قائمة . أما اذا لم يكن المستوي يصنع زاوية قائمة مع المجال كما في الشكل 4-4 ب فيمكن ايجاد التدفق خلال المستوي من الرسم وكما يلي .

$$\Phi = BA \sin \theta \quad (4.2.1)$$

يتبين من ذلك أنه اذا كان المستوي موازياً لاتجاه المجال فان التدفق لا يمر خلال المستوي .

مثال 1-4 ملف مستطيل ابعاده 200 ملم \times 100 ملم . ثبت بحيث يمكنه الدوران حول نقطتي منتصف الضلعين اللذان طولهما 100 ملم . وقد كان محور الدوران يصنع زوايا قائمة مع مجال مغناطيسي ذي كثافة منتظمة تساوي 0.05 تيسلا . احسب التدفق في الملف تحت الظروف التالية :

- 1 . أكبر تدفق ممكن خلال الملف مع بيان وضع الملف عند ذلك .
- 2 . التدفق خلال الملف عندما يكون الضلعان اللذان طولهما 100 ملم مائلين بـ 45° مع اتجاه التدفق .



شكل 5-4

1. يمر أكبر تدفق في الملف حينما يصنع مستوى الملف زاوية قائمة مع اتجاه التدفق .

$$\phi = BA = 0.05 \times 200 \times 10^{-3} \times 100 \times 10^{-3} = 10 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

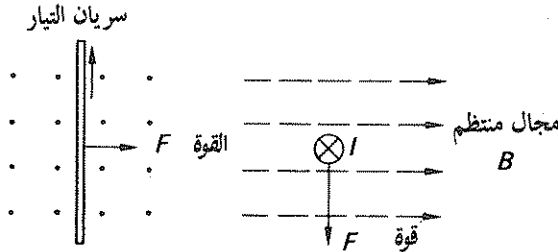
$$= \underline{1.0 \text{ mWb}}$$

$$\phi = BA \sin \theta = 1.0 \times 10^{-3} \times \sin 45^\circ = 0.71 \times 10^{-3} \text{ Wb} \quad (2)$$

$$= \underline{0.71 \text{ Wb}}$$

3-4 القوة على موصل حامل للتيار

ان تعريف الأمبير يعتمد على أساس ان الموصل الحامل لتيار والموضوع في مجال مغناطيسي تساط عليه قوة مغناطيسية .
نفرض أن موصلاً منتظماً ومستقيماً وضع متعامداً مع مجال مغناطيسي ذي كثافة تدفق B كما مبين



شكل 6-4 موصل حامل للتيار في مجال مغناطيسي منتظم

في الشكل (6-4) وكان طول الموصل الذي يقع ضمن المجال (الطول الفعال) l والتيار الذي يحمله الموصل I . من الممكن ان نثبت تجريبياً ان محصلة القوة تتناسب مع كثافة التدفق والطول الفعال والتيار ، أي :

$$F \propto BIl$$

وتقاس كثافة التدفق بوحدات بحيث يكون :

$$F = BIl$$

4-3

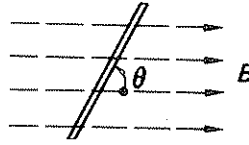
ان وحدات قياس التدفق تشتق من هذه العلاقة ، لذلك سنرى أنه من الممكن تفسير هذه القاعدة بالـ ق . د . ك . المتولدة والتي تشكل تعريفاً بسيطاً لوحدة التدفق (الوبير) وسيشتق تعريف الوبير في الفقرة 6-4 .

فالعلاقة 4-3 على أي حال هي علاقة مهمة كأساس لكل القياسات المغناطيسية . فالفقرة BII يمكن الحصول عليها حينما يكون المجال المغناطيسي والموصل متعامدين وتقاس بالنيوتن . أما اذا صنع الموصل مع المجال زاوية (θ) فان الطول الفعال للموصل في المجال أي الطول الذي يظهر للمجال يكون $l \sin \theta$ وتكون القوة كما يلي :

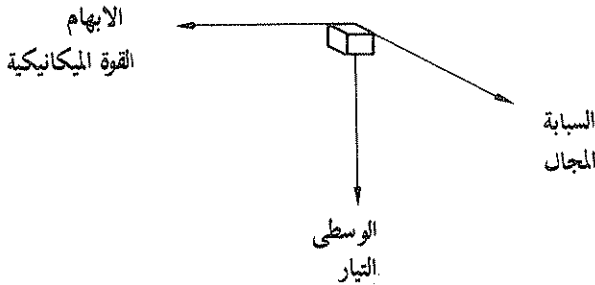
$$F = BIl \sin \theta$$

(4.3.1)

ويبين الشكل 7-4 كيفية ذلك .



شكل 7-4 موصل حامل للتيار في مجال مغناطيسي منتظم يصنع زاوية مع المجال من الممكن تجريبياً أن نبين ان القوة الميكانيكية المسالطة على موصل تكون دائماً عمودية على المستوى المتكون من اتجاهي الموصل والمجال المغناطيسي . ويمثل اتجاه القوة بقاعدة اليد اليسرى * المبينة في شكل 8-4 والتي تنص على ما يلي :



شكل 8-4 قاعدة اليد اليسرى

- 1- اجعل الابهام والسبابة والوسطى لليد اليسرى بالكيفية المبينة في الشكل 6-4 بحيث تكون متعامدة على بعضها .
- 2- لتكن السبابة باتجاه المجال المغناطيسي .
- 3- والوسطى باتجاه التيار .
- 4- ينتج من ذلك أن اتجاه الابهام سيكون باتجاه القوة الميكانيكية المسالطة على الموصل . وإذا عكس اتجاه المجال أو التيار فإن اتجاه القوة سينعكس ايضاً . أما اذا عكس اتجاهها التيار والمجال بنفس الوقت فإن اتجاه القوة يبقى دون تغيير .

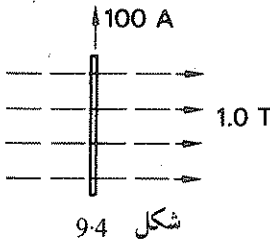
- 1 مثال (2-4) موصل طوله نصف متر موضوع بزاوية قائمة مع مجال مغناطيسي منتظم كثافة تدفقه 1 تيسلا . فإذا كان الموصل يحمل تياراً مقداره 100 أمبير ، احسب القوة المسالطة على الموصل
 - أ- عندما يكون بالوضع المشار اليه .
 - ب- عندما يكون بوضع يميل بزاوية 30° على اتجاه المجال

$$F = BIl = 1 \times 0.5 \times 100 = 50 \text{ N}$$

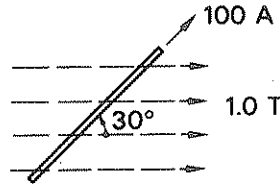
$$F = BIl \sin \theta = 50 \times \sin 30^\circ = 25 \text{ N}$$

* من المفيد الاشارة الى أن قاعدة اليد اليمنى تطبق في حالة المولد وقاعدة اليد اليسرى في حالة المحرك

(المترجمان)



شكل 9-4



شكل 10-4

4-4 القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (Induced EMF)

ذكرنا سابقاً بأنه عند حركة موصل في مجال مغناطيسي تحدث فيه ق. د. ك. فقد اكتشف ذلك العالم فراادي . ويمكن صياغة ذلك بعبارة اعم كما يلي : عندما يتغير المجال المغناطيسي الذي يوصل دائرة فان ق. د. ك. تحدث في تلك الدائرة . وهذه العبارة مناسبة نظراً لأن الق. د. ك. المحتثة في دائرة مغلقة هي التي يمكن قياسها . فمثلاً اذا ربط موصل الى فولتمتر مناسب لكي يقيس ق. د. ك. له فان الفولتمتر سيكمل الدائرة أو الدائرة .

يمكن تغيير تدفق يوصل دائرة باحدى الطرق الثلاثة التالية :

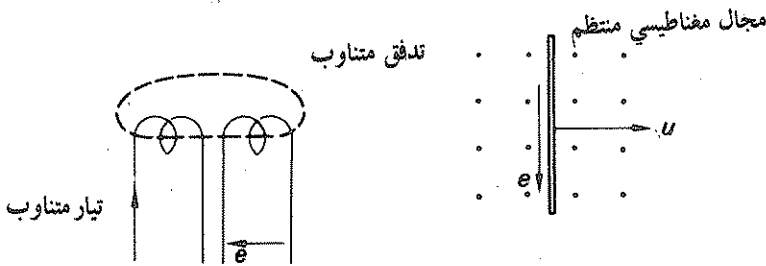
1. تحريك الملف في مجال مغناطيسي ثابت او نسبة اليه ، لكي يتكون تدفق متغير المقدار في الملف .
2. تغير المجال بتغيير التيار المسبب له مع بقاء الملف ثابتاً . وهنا نجد أن التدفق في الملف يتغير أيضاً .
3. توفر الطرفين السابقين في آن واحد .

عند حث ق. د. ك. بالطريقة الاولى تسمى ق. د. ك. المحتثة بالحركية (Motional emf)

بينما تسمى ق. د. ك. المحتثة بالطريقة الثانية بـ ق. د. ك. المحول (Transformer emf)

وبين الشكل 11-4 كلا الطريقتين لتوليد الق. د. ك.

وتجدر الاشارة الى أن مسألة قطبية الق. د. ك. المحتثة تظهر حينما يتحرك ملف في مجال مغناطيسي ويمكن ايجادها حسب قانون لينز التالي .

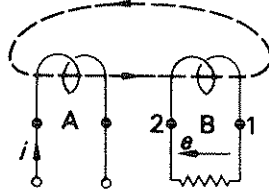


(أ) ق. د. ك. حركية (ب) ق. د. ك. محول

شكل 11-4 حث ق. د. ك. في الملفات

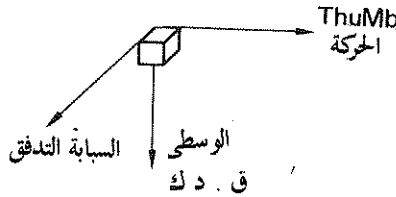
5.4 قانون لينز (Lenz's Law)

ينص قانون لينز على ان الـ ϵ . د . ك . المحتة في دائرة بواسطة تغيير تدفق الوصلية يكون بقطبية بحيث تحاول توليد تيار يعاكس تغيير تدفق الوصلية . وكنتيجة من هذا القانون لنفرض ملفين مثبتين قريبين من بعضهما كما مبين في شكل 12.4 . وقد اكملت دائرة الملف B بمقاوم . فاذا زاد التيار الذي يمر في A فان



شكل 12.4 ملفان لتوضيح قانون لنز

التدفق في B يزداد ومن ثم تزداد وصلية التدفق في B والتي تولد ق . د . ك . في الملف B وهذه تسبب تياراً بحيث يولد تدفقاً معاكساً للزيادة في التدفق الاصيلي . ولكي تستوفي هذه المتطلبات يجب أن يكون الطرف 2 موجباً بالنسبة للطرف 1 . وبالْحَقِيقَة فان قانون لينز هو استمرار لقانون حفظ الطاقة بل هو تطبيق كهربائي للقاعدة القائلة ان لكل فعل رد فعل مساو له بالمقدار ومعاكس له بالاتجاه . ففي حالة تجربة الملفين السابقين A و B تحاول مقاومة الدائرة B منع التيار من الوصول الى قيمة كافية لمنع وصليات التدفق من التغيير . ويمكن باستخدام قانون لينز أن نبين ان قطبية الـ ϵ . د . ك . المحتة في موصل متحرك تكون حسب قاعدة اليد اليمنى كما موضح في الشكل 13.4



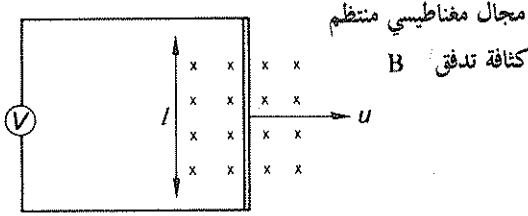
شكل 13.4 قاعدة اليد اليمنى

قاعدة اليد اليمنى (Right Hand Rule)

- 1 اجعل اصابع السبابة والابهام والوسطى لليد اليمنى بالطريقة المبينة في الشكل 4-13 بحيث تكون متعامدة على بعضها
- 2 اشر بالابهام الى اتجاه حركة الموصل المتعامدة مع المجال
- 3 اشر بالسبابة باتجاه المجال
- 4 يكون اتجاه الوسطى باتجاه قطبية الـ ϵ . د . ك . المحتة بالنسبة للموصل .

14-4 لنفرض ان موصلأ يتحرك متعامداً مع مجال مغناطيسي منتظم كما مبين في شكل 14-4 لما كان الموصل الذي يحمل التيار I يصادف قوة حسب العلاقة

$$F = BIl$$



شكل 14-4 موصل حامل للتيار يتحرك عبر مجال مغناطيسي منتظم

وهذه القوة تسلط من قبل الموصل على مسنده وهي نفس القوة التي تسلط على الموصل من قبل المسند الميكانيكي حيث تساويها بالمقدار وتعاكسها بالاتجاه .
اذا تحرك الموصل مسافة مقدارها Δx بزمن مقداره Δt حيث $u = \Delta x / \Delta t$ فان معدل القدرة اللازمة لتحريك الموصل تساوي

$$P = Fu$$

$$= BIl \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

الا انه استنادا الى قانون حفظ الطاقة تكون القدرة الداخلة من المصدر الميكانيكي مساوية للقدرة الكهربائية الخارجة من الموصل . فاذا كان متوسط الـ ق. د. ك. المحتمنة هو E فان

$$P = EI$$

$$= BIl \cdot \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\therefore E = \frac{Bl \cdot \Delta x}{\Delta t}$$

$$= \frac{B \cdot \Delta A}{\Delta t}$$

حيث ΔA هي المساحة المكتسحة بحركة الموصل . ونظراً لأن $BA = \Phi$ فان $B \cdot \Delta A = \Delta \Phi$ ومن ثم :

$$E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

وباصطلاحات التفاضل والتكامل

$$e = \frac{d\phi}{dt} \quad (4.4)$$

من الممكن ان نبين تجريبياً ان الق د د ل ك المحتة موجودة بغض النظر عن اتجاه حركة الموصل بالنسبة للمجال وسواء كان زيادة او نقصان في تدفق الوصل .

ويمكن توضيح هذه الق د د ل ك المحتة في الموصل بربط فولتمتر عبر نهايتي الموصل . كما تبين هذه التجربة انه اذا صنع ملف من اللغات يساوي N فان قيمة الق د د ل ك المحتة تزداد طردياً . ولذا يكون :

$$e = N \frac{d\phi}{dt} \quad (4.4.1)$$

$$e = \frac{d(\phi N)}{dt} \quad (4.5)$$

ان حاصل الضرب ϕN يسمى وصلية تدفق الملف او الدائرة (Flux Linkage)

وصلية التدفق الرمز : Ψ^* الوحدة: وبير-لفة (Wb t)

$$\Psi = \phi N \quad (4.6)$$

$$e = \frac{d(\phi N)}{dt} = \frac{d\Psi}{dt} \quad (4.7)$$

وهذا هو النص الرياضي لقانون فراداى الثاني للكهروديناميكية والمسمى عادة بقانون فراداى ويعرف الوبير استناداً للعلاقة 4.7

مثال 3-4 ملف مؤلف من 100 لفة اوصل بتدقيق مقداره 20 ملي وبير فاذا عكس هذا التدفق بزمن مقداره 2 ملي ثانية ، احسب معدل الق د د ل ك المحتة في الملف

$$\Delta\Psi = N \cdot \Delta\phi = 100 \times (20 \times 10^{-3} - (-20 \times 10^{-3}))$$

$$= 4 \text{ Wbt}$$

$$E = \frac{\Delta\Psi}{\Delta t} = \frac{4}{2 \times 10^{-3}} = \underline{\underline{2000 \text{ V}}}$$

يمكن اجراء تعديل في العلاقة 4-7 لكي نربط بين الق. د. ك. المحتنة والسرعة التي بها يتحرك الموصل . في المجال المغناطيسي . ولقد استخدم الموصل في هذا الباب بسبب تطبيقاته العملية في المكائن الكهربائية بدلا من الدارة والملف . وعلى اي حال فان الموصل سيشكل جزءاً من دائرة اخيراً وبالتالي يكون الموصل ذو وصليات تدفقية . وبالعودة الى الشكل 10-4 يمكننا ان نلاحظ ان الموصل فقط يقع ضمن المجال المغناطيسي .

اذا تحرك الموصل بسرعة مقدارها u فان التدفق الذي يقطعه ومن ثم يدخل ضمن دارة الدائرة في الزمن Δt يعطى بالمعادلة :

$$\Delta\Phi = Bl \cdot \Delta x = Blu \cdot \Delta t$$

وينتج من ذلك أن معدل الق. د. ك. يكون .

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = Blu$$

وباستخدام رموز التفاضل والتكامل

$$e = \frac{d\phi}{dt} = Blu \quad (4.8)$$

وكما مر بنا سابقاً يمكن قياس هذه الق. د. ك. باستعمال فولتميتر . وعلى فرض أن أسلاك التوصيل المرتبطة بطرفي الفولتميتر لا تلعب دوراً بقطع التدفق ، لذاتبقى العلاقة 4-8 صحيحة . وهذا العامل ينطبق على كافة الحالات المشابهة في هذا الفصل . أما اذا قطعت تلك الاسلاك المجال فعند ذلك تحث فيها ق. د. ك. تدخل في قراءة الفولتميتر .

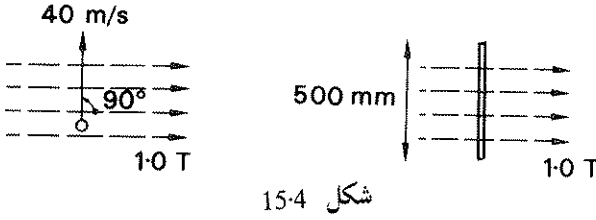
لفرض حالة ملف مستطيل يتحرك في مجال مغناطيسي منتظم فان معدل دخول التدفق الى الدارة من جانب يساوي معدل مغادرة التدفق للدائرة من الجانب الآخر . لذلك لا يكون هناك تغير في وصليات التدفق على الدارة ، ومن ثم لا تحث ق. د. ك. في الدارة . اما اذا افترض ان طرفي الدارة هما موصلان منفصلان فان كلا منهما ستحث فيه ق. د. ك. مقدارها B/lu . وهاتان القوتان الدافعتان الكهربائيتان تعملان باتجاهين متعاكسين حول الدارة ، لذلك يحذف احدهما مفعول الآخر . وتكون الق. د. ك. الكلية الفعالة صفراً كما مر بنا سابقاً .

ليس من الضروري ان يتحرك الموصل عبر المجال دائماً . حيث يمكن ان يكتسح المجال ملفاً ثابتاً بمحله ففي العلاقة $e = B/lu$ تكون u هي سرعة الموصل بالنسبة للمجال .

تكون حركة الموصل متعامدة مع المجال اذا قطع الموصل المجال . أما الحركة الموازية للمجال فلا تولد اي تغيير في وصليات التدفق . ومن ثم لا تحث أي ق. د. ك. أما اذا تحرك الموصل بزواوية مقدارها α مع المجال فتكون سرعة حركة الموصل عبر المجال $u \sin \alpha$ ، ومن ثم

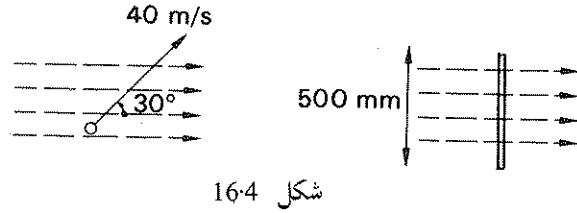
$$e = Blu \cdot \sin \alpha \quad (4.8.1)$$

- مثال 4-4 موصل طوله 0.5 متر ، يصنع زاوية قائمة مع مجال مغناطيسي منتظم كثافة تدفقه 1 تيسلا ، يتحرك بسرعة مقدارها 40 متر / ثانية . احسب ا. د . ك . المحتة في الموصل حينما يكون اتجاه الحركة
- أ- يصنع زاوية قائمة مع اتجاه المجال .
 ب- يصنع زاوية 30° مع اتجاه المجال .
 ج- كما في ب ولكن الموصل يميل بزاوية مقدارها 45° عن المجال



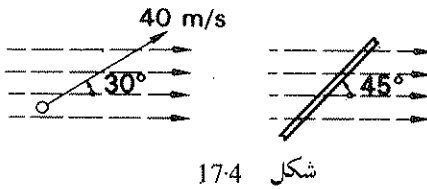
$$E = Blu \cdot \sin \alpha = 1 \times 0.5 \times 40 \times \sin 90^\circ$$

$$= \underline{20 \text{ V}}$$



$$E = Blu \cdot \sin \alpha = 1 \times 0.5 \times 40 \times \sin 30^\circ$$

$$= \underline{10 \text{ V}}$$

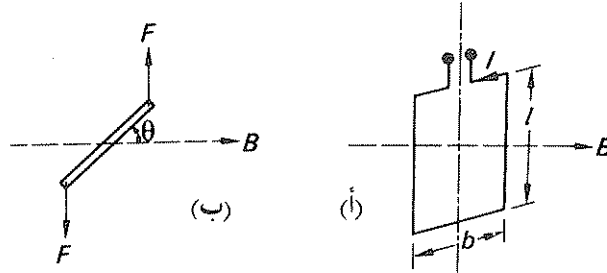


$$E = B(l \cdot \sin \theta) u \cdot \sin \alpha = 10 \times \sin 45^\circ$$

$$= \underline{7.1 \text{ V}}$$

7.4 شدة المجال المغناطيسي والقوة الدافعة المغناطيسية

نفرض ان ملفاً مستطيلاً ابعاده $b \times l$ كما مبين في شكل 18-4 . يصنع مستوى الملف زاوية مقدارها θ مع اتجاه مجال مغناطيسي منتظم كثافته B . ويرتكز الملف على نقطة في منتصف الضلع b وكان الملف يحمل تياراً مقداره I ، فان مرور التيار في الاضلاع الجانبية للملف يسلط قوة مؤثرة عليها . ان القوة المتولدة على كل نصف من ضلعي الملف b تكونان متساويتين وتولدان عزمين متعاكسين ، لذلك يحذف أحدهما تأثير الآخر .



شكل 18-4 ملف في مجال مغناطيسي

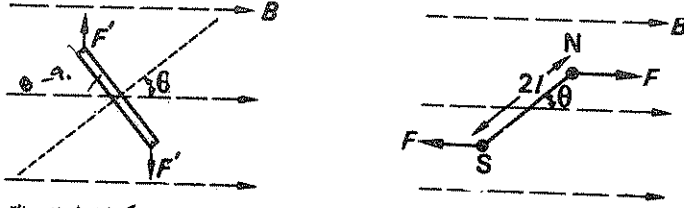
أما القوتان المسلطتان على الضلعين الذين طولهما l فتولدان عزمًا كما مبين في شكل 18-4 ب وهذا العزم هو :

$$\begin{aligned} T &= 2F \cdot \frac{b}{2} \cos \theta \\ &= BIlb \cdot \cos \theta \\ &= BIA \cdot \cos \theta \end{aligned} \quad (4.9)$$

لغرض معرفة خواص المجال المغناطيسي من المناسب ان نفرض مغناطيساً مكافئاً لملف كهرومغناطيسي من النوع المبين في الشكل 18-4 . وقد سمي المغناطيس بالمغناطيس ثنائي القطب (Dipole) والذي هو الوحدة الاساسية للمغناطيسية . ولغرض اتمام متطلبات التكافؤ يمكن مقارنته بالمغناطيس الطبيعي الذي يحوي زوجاً من الاقطاب المتساوية والمتعاكسة ويمكن ان يتكون من ملفات صغيرة يمر فيها تيار كهربائي . ان شدة القطب المغناطيسي تقاس بالتدفق Φ الذي يصدر منها . واذا كان طول ثنائي القطب يساوي $2l$ وتدفقه Φ والذي يصدر من القطب الشمالي ويعود الى القطب الجنوبي هو Φ ، فان العزم المغناطيسي m يعرف بـ

$$m = 2\Phi l \quad (4.10)$$

حيث تقاس m بالويبر متر .



(أ) مغناطيسي ثنائي القطب ب- داره مغناطيسية مكافئة لثنائي القطب
شكل 19.4 ترتيب مغناطيسي لثنائي القطب

إذا وجد ثنائي القطب في مجال مغناطيسي منتظم كثافته B في حيز خال من الهواء أو في الفراغ المطلق كما في شكل 19-4 أ ، فإنه يمكن أن نبرهن على أن قوة كل قطب من قطبي ثنائي القطب أنها تتناسب مع كثافة المجال B وكذلك مع تدفق القطب Φ لذلك فإن *

$$T \propto B\Phi 2l \sin \theta$$

$$\propto mB \cdot \sin \theta$$

$$T = \text{constant} \times mB \cdot \sin \theta$$

$$\frac{1}{\mu_0}$$

نفرض ان الثابت يساوي

$$T = \frac{mB}{\mu_0} \cdot \sin \theta$$

فيكون العزم المكافئ لملف ذي لفة واحدة والمبين في شكل 19-4

$$T = BIA \cdot \cos(90^\circ - \theta)$$

$$= BIA \cdot \sin \theta$$

ولثنائي القطب المكافئ تنطبق إحدى المعادلتين

$$BIA \cdot \sin \theta = \frac{mB}{\mu_0} \cdot \sin \theta$$

$$IA = \frac{m}{\mu_0}$$

• لاحظ بأن الزاوية θ في الشكل 18-4 هي بين الملف وكثافة المجال بينما θ في الشكل 19-4 هي بين العمود على الملف وكثافة المجال لذلك فإنها ليسا نفس الزاوية ولكنها متتامتين (مجموعهما 90°) وهذا السبب ظهر $\sin \theta$ في العلاقة 4-9 بينما ظهر $\cos \theta$ هنا

(المترجمان)

حيث μ_0 هو ثابت مغناطيسي يعرف بالانفاذية (Permeability) والتي ستوضح في الفقرة 8-4 . لذلك فان العزم على ثنائي القطب يكون :

$$T = BIA \cdot \sin \theta$$

$$= \frac{mB}{\mu_0} \cdot \sin \theta$$

$$= \frac{2\Phi lB \cdot \sin \theta}{\mu_0}$$

$$T = 2Fl \cdot \sin \theta \quad \text{ولكن :}$$

حيث F هي القوة على كل قطب من قطبي ثنائي القطب

$$F = \frac{\Phi B}{\mu_0}$$

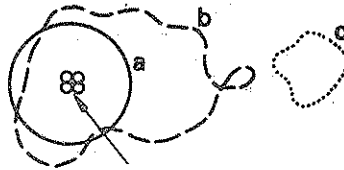
لذا فان القوة على وحدة القطب تساوي B/μ_0 وتسمى قوة التمغنط H

$$H = \frac{B}{\mu_0}$$

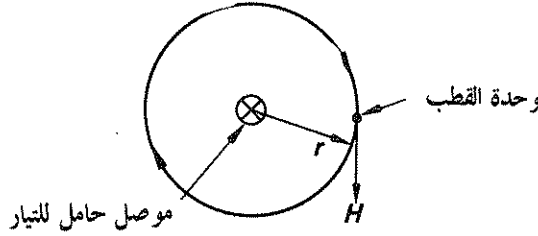
$$B = \mu_0 H$$

(4.11)

ان الثابت μ_0 في العلاقة 4.11 يستعمل حينما يكون ثنائي القطب موجوداً في الفراغ المطلق وذلك شرط أساسي . لذا فان القوة المغناطيسية في أي نقطة في المجال الكهرومغناطيسي هي تلك القوة التي تصادفها وحدة القطب المغناطيسية الموضوعة في تلك النقطة . واذا تحركت وحدة القطب المغناطيسي بمر كامل حول موصلات حاملة للتيار عددها N ، فان شغلا يكون قد انجز ، على فرض ان الحركة كانت معاكسة لخطوط القوة . وعلى العكس ، فاذا كانت الحركة باتجاه المجال المغناطيسي فان شغلا يكون قد انجز من قبل القوة المغناطيسية ضد اي قوة تعاكس حركة القطب . وفي كلا الحالتين فان وحدة القطب تصنع دورة كاملة حول الموصلات التي عددها N وبحسب الشغل وفق (قانون الشغل) الذي ينص على ان الشغل الصافي المنجز بوحدة القطب عند الحركة مرة واحدة حول ممر كامل يساوي رقمياً حاصل ضرب التيار في عدد اللفات الموصلة داخل الممر . وينتج من ذلك انه اذا كان هناك موصلات عددها N ، كل منها يحمل تياراً مقداره I ، فان الشغل المنجز يساوي IN مقاساً بالجولات .



يبين الشكل 20-4 ممراً منتظماً مؤشراً عليه بـ (a) يمكن امرار وحدة القطب حوله . الا ان أي ممر غير منتظم مثل (b) يؤدي الى نفس النتيجة . اما الممر (c) فلا يوصل الموصلات ، لذلك فانه لا ينجز أي شغل نتيجة حركة القطب المغناطيسي حول ذلك الممر .
ان هذه القاعدة تنطبق على كافة المجالات المغناطيسية بغض النظر عن أبعاد المجال او الخواص التي يمتلكها . وان قانون الشغل يمكن برهنته عند فرض تأثير وحدة القطب المغناطيسي . الا ان العمليات الرياضية أعقد من أن تعرض في مثل هذه المرحلة الاولية من الكهرومغناطيسية . ولغرض توضيح تطبيق قانون الشغل نفرض حركة وحدة القطب في ممر دائري حول موصل يحمل تياراً كما مبين في شكل 21-4 .



شكل 21.4. شدة مجال التمثغظ حول موصل يحمل تياراً

فاذا وضعت وحدة القطب على دائرة فان قوة (H) تسط عليها . وعند حركة وحدة القطب حول الدائرة مرة واحدة فان الشغل المنجز يكون :

$$2\pi rH$$

ومن قانون الشغل فان ذلك يساوي رقمياً التيار الموصل . لذلك

$$I = 2\pi rH$$

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

واذا كان هناك موصلات عددها N موصل فان

$$H = \frac{NI}{2\pi r} \quad (4.12)$$

ومن ملاحظة هذا المقدار يمكننا ان نرى ان القوة المسماة بشدة المجال المغناطيسي تقاس بالأمبير لكل متر او أمبير-لفة لكل متر . ونظراً لأن عدد اللفات لا يحوي أي عامل بعد (Dimension) لذلك يمكن وضعها او حذفها من وحدة القياسات على حد سواء . وشدة المجال المغناطيسي هي كمية اتجاهية نظراً لاحتوائها على مقدار واتجاه .

الرمز: H وحدتها: أمبير لفة لكل متر At/m

شدة المجال المغناطيسي

ان الشغل المنجز عند حركة وحدة القطب حول دائرة مغناطيسية يساوي حاصل ضرب I و N (IN) وهذا يسمى بالقوة الدافعة المغناطيسية (Magneto motive force) أو ق. د. غ. (m.m.f.) وحيث ان عدد اللفات هو كمية بلا وحدة فان :

الوحدة: أمبير لفة (At)

الرمز: (F)

القوة الدافعة المغناطيسية

ونظراً لأن شدة المجال المغناطيسي والـ ق. د. غ. يمكن قياسهما بالأمبير لفة لكل متر وبالأمبير لفة على التعاقب لذلك فانه ليس من الضروري افتراض وحدة القطب المغناطيسي والتي هي عبارة عن وسيلة خيالية تماماً لاشتقاق مفهوم شدة المجال المغناطيسي . ان الق : د . غ . مناظرة الق. د. ك. نظراً لأن كل واحدة منهما تمثل طاقة منتجة في الدائرة . لذلك يتبع من تعريف الق. د. غ. ، انه في حالة تجانس المجال على طول المسافة المؤثرة l يكون :

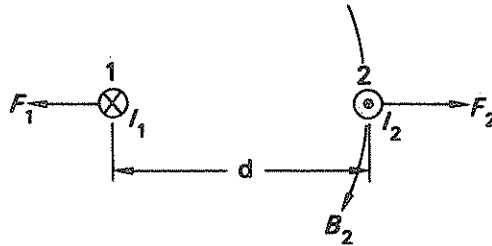
$$F = HI$$

$$(4.13)$$

8-4 الانفاذية (Permeability)

في المعادلة 4-11 استعملت الانفاذية μ_0 لتبيان العلاقة بين كثافة التدفق وشدة المجال المغناطيسي وهذا الثابت يمكن حسابه من تعريف الأمبير .

لتفرض موصلين طويلين متوازيين يحملان تيارين مقداريهما I_1 و I_2 والمسافة بينهما d يقعان في الفراغ المطلق . وكانت المسافة (d) أكثر بكثير من قطري أي منهما بحيث اذا علمت شدة المجال الناتجة في مركز الموصل الثاني فانها تقريباً تنطبق على كل المقطع العرضي لذلك الموصل كما مبين في شكل 22-4



شكل 22-4. موصلان متوازيان يحملان تيارين

نفرض ان B_2 هي كثافة التدفق على الملف الثاني الناتجة من التيار I_1 في الملف الاول

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$$

لذلك فان القوة على الملف الثاني تكون

$$F_2 = B_2 I_2 l_2$$

ولوحددة الطول من الملف الثاني تكون القوة

$$F_2 = B_2 I_2 l_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} l_2 \quad (4.14)$$

سبق أن اوضحنا في تعريف الامبير بانه مثل هذه المنظومة لو وضعت الموصلات على بعد متر واحد ومر تيار مقداره امبير واحد في كل من الموصلين فان القوة المسلطة على الموصلين تساوي 2×10^{-7} نيوتن لكل متر طول

$$\mu_0 = \frac{2\pi d F_2}{I_1 I_2} = \frac{2\pi \times 1 \times 2 \times 10^{-7}}{1 \times 1}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

واذا وجدت كثافة التدفق الناتجة من قوة التمغنط في حيز غير الفراغ المطلق فان قيمة الانفاذية تتغير وفي هذه الحالة تكون الانفاذية هي الانفاذية المطلقة μ

الانفاذية المطلقة الرمز μ الوحدة هنري لكل متر (H/m)

ويمكن التعبير عن الانفاذية المطلقة كمضاعفات لانفاذية الفراغ المطلق μ_0

الانفاذية المطلقة للفراغ المطلق الرمز : μ_0 الوحدة هنري لكل متر (H/m)

وستشتق وحدة الانفاذية المطلقة في الفقرة 2.5

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

ان نسبة الانفاذية المطلقة الى انفاذية الفراغ تدعى بالانفاذية النسبية μ_r

الانفاذية النسبية الرمز : μ_r الوحدة : بلا

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

وينتج من ذلك ان الحالة العامة للعلاقة (4-11) هي

تلفظ ميو

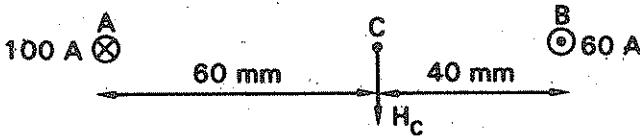
(الترجمان)

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

(4.15)

تعتبر الانفاذية النسبية للهواء (μ_r) واحداً . وكذلك لبقية المواد غير المواد الحديدية المغناطيسية (Ferromagnetic Materials) كالحديد والكوبلت والنيكل والتي يمكن ان يكون لها انفاذية نسبية ذات قيم عالية جداً .

مثال (5-4) موصلان متوازيان A و B وضعا على بعد 100 ملم في الهواء . يحمل الموصل A تياراً مقداره 100 أمبير في اتجاه معين ، بينما يحمل الموصل B تياراً مقداره 60 أمبير بعكس الاتجاه . احسب القوة المغناطيسية (شدة المجال المغناطيسي) في نقطة C والتي تبعد 60 ملم عن الموصل A و 40 ملم عن الموصل B



شكل 4. 23

$$H_{CA} = \frac{I_A N_A}{2\pi r_{CA}} = \frac{100 \times 1}{2\pi \times 60 \times 10^{-3}} = 265 \text{ At/m}$$

$$H_{CB} = \frac{I_B N_B}{2\pi r_{CB}} = \frac{60 \times 1}{2\pi \times 40 \times 10^{-3}} = 239 \text{ At/m}$$

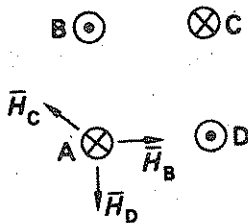
ان كلا القوتين المغنطيتين تعملان عمودياً نحو الاسفل . لذلك فان محصلة شدة المجال المغناطيسي في النقطة C تساوي

$$H_C = H_{CA} + H_{CB} = 265 + 239 = 504 \text{ At/m}$$

وهذا الجمع هو بالحقيقة جمع اتجاهي بسيط . ويتضمن المثال التالي جمعاً اتجاهياً معقداً . مثال (6-4) اربع موصلات A ، B ، C ، D تقع مقاطعها على زوايا مربع طول ضلعه 100 ملم وقد مر

في كل منها تيار مقداره 200 أمبير في الاتجاهات المبينة في الشكل 4-24 . اوجد

- أ- شدة المجال المغناطيسي على الموصل A والناتجة من الموصلات B ، C ، D
ب- قيمة واتجاه القوة المسلطة على الموصل A



شكل 4. 24

• ينتج ذلك بوضوح من تطبيق قاعدة اليد اليمنى

(المترجمان)

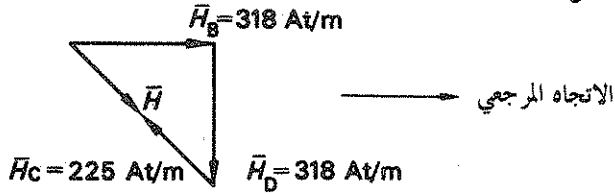
أ) حساب شدة المجال المغناطيسي في النقطة A الناتجة من الموصلات الثلاثة الأخرى

$$H_B = \frac{I_B N_B}{2\pi r_B} = \frac{200 \times 1}{2\pi \times 100 \times 10^{-3}} = 318 \text{ At/m}$$

$$H_C = \frac{I_C N_C}{2\pi r_C} = \frac{200 \times 1}{2\pi \times \sqrt{2} \times 100 \times 10^{-3}} = 220 \text{ At/m}$$

$$H_D = \frac{I_D N_D}{2\pi r_D} = \frac{200 \times 1}{2\pi \times 100 \times 10^{-3}} = 318 \text{ At/m}$$

ان شدة المجال المغناطيسي الناتجة في نقطة A يمكن حسابها من المخطط الاتجاهي المرسوم بمقياس مناسب في شكل 25.4



شكل 25.4

$$\begin{aligned} \vec{H} &= \vec{H}_B + \vec{H}_C + \vec{H}_D \\ \vec{H} &= 220 \angle -45^\circ \text{ At/m} \\ H &= 220 \text{ At/m} \end{aligned}$$

بالنسبة لاتجاه المرجع

علماً بأنه كان بالإمكان حساب شدة المجال المغناطيسي من تحليل المتجهات بالاتجاهين العمودي والافقي مجموع المركبات الافقية

$$H_B \cos 0^\circ + H_C \cos 135^\circ + H_D \cos 270^\circ = 156 \text{ At/m}$$

مجموع المركبات العمودية

$$H_B \sin 0^\circ + H_C \sin 135^\circ + H_D \sin 270^\circ = -156 \text{ At/m}$$

لذا تكون محصلة شدة المجال المغناطيسي

$$H = (156^2 + 156^2)^{\frac{1}{2}} = 220 \text{ At/m}$$

وزاوية الفعل (Angle of action) تكون

$$\theta = \tan^{-1} \frac{-156}{156} = -45^\circ$$

$$B = \mu_0 H = 4\pi \times 10^{-7} \times 220 = 2.76 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$\begin{aligned} F = BI_A &= 2.76 \times 10^{-4} \times 200 = 55.2 \times 10^{-3} \text{ N/m} \\ &= \underline{55.2 \text{ mN/m}} \end{aligned}$$

بتطبيق قاعدة اليد اليسرى تكون زاوية الفعل بالنسبة الى اتجاه المرجح تساوي 135° -

9-4 المغناطيسية الحديدية (Ferromagnetism) ونظرية التكتل (Domain Theory)

يعلم القارئ بأن تجزئة المغناطيس الدائم الى قطعتين كل منهما تكون مغناطيسياً وإذا استمرينا بتجزئة المغناطيس الى أن يبقى لدينا ذرة واحدة يمكن ان يشتق المجال المغناطيسي لهذه الذرة من حركة الكترولونات والتي تتم بطريقتين :

1. حركة الالكترولونات حول نواة الذرة

2. حركة الالكترولونات حول محورها

ان العزم المغناطيسي الناتج من ذرة هو عبارة عن محصلة العزوم الناتجة من الالكترولونات التي تدور حول نفسها وعن الحركة المدارية كما يمكن أن نبين أن الالكترولونات الدوارة حول نفسها أكثر العاملين أهمية وتبسّط حسابات محصلة العزم استناداً الى أن الطبقات الكاملة للمدارات الالكترونية ليس لها عزم مغناطيسي نظراً لتناظرها .

هناك عدد كبير من الذرات التي ليس لها عزم مغناطيسي الا عند وجود مجال مغناطيسي ، وذلك نظراً لان تناظرها يتشوه بواسطة المجال . ففي مثل هذه الحالة يقل العزم المغناطيسي ويقال عن ذرات هذه المواد بانها ذرات المواد الدايمغناطيسية (Diamagnetic) وتكون قيمة انفاذيتها بحدود 10^6

وكمثال على المعادن التي تظهر الخاصية الدايمغناطيسية الزئبق والفضة .

هناك بعض المجاميع من الذرات التي مدارات ذراتها الداخلية غير كاملة . وهذا يسبب أن تنتج محصلة

مغناطيسية دائمية حيث تحاول هذه الذرات ترتيب نفسها باي مجال خارجي ، ومن ثم تقويته ويقال عن

هذه الذرات بانها بارامغناطيسية (Paramagnetic) وفي هذه الذرات تكون الدايمغناطيسية موجودة ايضاً الا أنها

مضمورة بسبب قوة البارامغناطيسية . علما بان المواد البارامغناطيسية لها انفاذية أكثر من الواحد الصحيح ويحدود

10^{-3} وكمثال على المواد ذات التأثير البارامغناطيسي البلاينيوم والتنكستن

ان المجموعة بالغة الأهمية هي مجموعة المغناطيسية الحديدية (Ferromagnetic) وبالاخص

الحديد والنيكل والكوبلت ففي هذه الحالات لا تتعامل الذرات منفردة بل بمجاميع تسمى تكتلات ،

كل واحدة تحوي بين 10^9 الى 10^{15} ذرة وهذه التكتلات اصغر من حبات (grains) المواد .

وكل ذرة أو ايون لها عزم مغناطيسي دائم لذلك تكون ايونات المواد المغناطيسية الحديدية مشابهة للذرات

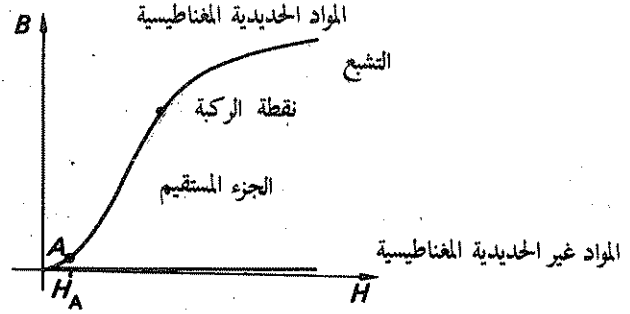
البارامغناطيسية ، الا أن الخواص المغناطيسية الحديدية تكون متميزة بان خواصها لا تعود لأيون واحد ، حيث

ان كافة الايونات في التكتل تشير محاورها المغناطيسية الدائمة باتجاه واحد وترتب بتداخل المجال

الجزئي الداخلي الدائم والذي يطفى على التكتل كاملاً . فالمجال الجزئي الداخلي هو خاصية للمغناطيسية

الحديدية كما يجب أن يلاحظ ان التركيب التكتلي يعتمد على درجة الحرارة ، فان التأثير الحراري يحاول

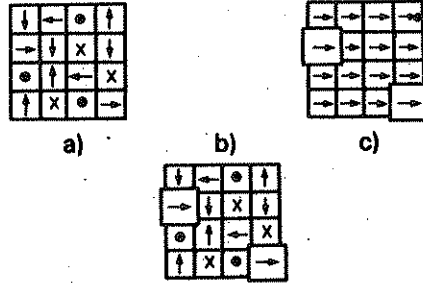
كسر التكتلات ، في حالة الحديد خاصة عند وصول درجة الحرارة 750° م



شكل 26.4 مميزات كثافة التدفق مع شدة المجال المغناطيسي

ان تشكيل الحديد والكوبلت والنيكل للتكتلات اسبابه معقدة حيث ان حلقة الالكترتون الثالثة من جزيئاتها غير كاملة ، والذي هو احد الشروط للبارامغناطيسية ، الا أن الايونات متشكلة بحيث ان مدارات الالكترونات المغناطيسية فيها يمكن أن تتداخل مع بعضها في الايونات المتجاورة . يحدث المجال الجزئي الداخلي في المواد الاخرى ، الا أن في المواد المغناطيسية الحديدية يأخذ المجال الاتجاه الصحيح الذي يسبب ترتيب المحور المغناطيسي للايونات . عند وضع نموذج من المادة المغناطيسية الحديدية في مجال مغناطيسي فان التكتلات تحاول الاستدارة بخط واحد ، مما ينتج ان مجالها المغناطيسية تُضاف للمجال الخارجي منتجة مجالاً كلياً أقوى . وهذا يلاحظ من الخواص المبينة في شكل 26.4 ، والتي تربط بين كثافة التدفق الناتجة مع شدة المجال المغناطيسي .

اتجاه المجال الخارجي المسلط →

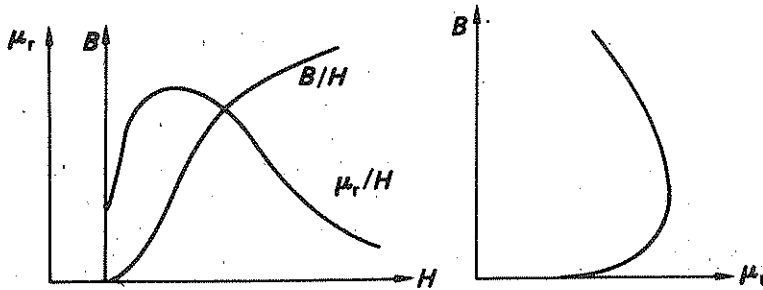


شكل 27.4 اسلوب التكتل

- (أ) ترتيب مبدئي عشوائي
- (ب) نمو التكتل
- (ج) التشبع

في البداية يكون النموذج متعادلاً مغناطيسياً . وهذا ناتج من كون التكتلات ذات اتجاهات عشوائية ، وبذلك تكون محصلة العزم المغناطيسي صفراً . ان اي شدة مجال مغناطيسي صغيرة الى حد H_1 تسبب كثافة تدفق أكبر من تلك الناتجة عن شدة المجال المغناطيسي عند فاعليتها على الحيز المكافيء . وهذا التدفق الاضافي يعود الى تأثيرات التكتلات ولحد هذه القيمة تكون حدود بعض التكتلات متغيرة والتي تكون تقريباً موازية للمجال الخارجي المتنامي على حساب جاراتها الملاصقة لها . وهذا النمو متعكس فاذا ما ازيلت شدة المجال المغناطيسي فإن التدفق يخفتي ايضاً . وعند زيادة شدة المجال المغناطيسي أكثر فإن التكتلات تستمر في النمو اضافة الى أن كثيراً منها تدور لكي تستقيم مع بعضها ، وهذه الحركة غير متعكسة فاذا ما ازيلت شدة المجال المغناطيسي يبقى المجال نتيجة ترتيب التكتلات التي استدارت . ان عملية بناء التكتلات بالاستعاضة المطلوبة تستمر عند زيادة شدة المجال المغناطيسي بسرعة ثابتة تقريباً حتى تستقيم معظم التكتلات . وبسبب هذه السرعة الثابتة يكون الجزء العائد لها من المميزات خطأ مستقيماً . وعندما تكون معظم التكتلات قد استقامت يقال عن المادة انها تشبعت (saturated) وبالحيقة فان التشبع لا يمكن الوصول اليه في الحالات الاعتيادية . وحتى لو اكمل التشبع فان كثافة التدفق تستمر بالزيادة مع شدة المجال المغناطيسي ولكن بسرعة مقاربة الى انفاذية نسبية مقدارها وحدة واحدة . وبين الشكل 27.4 مواضع التكتلات النسبية . ومما يجب ملاحظته انه عند ازدياد التأثير المغناطيسي فإن التكتلات لا تدور بانتظام فمثلاً عند وضع ملف حول النموذج فان حركة التكتل تنتج حث ق . د . ك . في داخلها ، والتي يمكن تضخيمها وسماعها بواسطة مجهر (Loudspeaker) وتأخذ الضوضاء الناتجة حفيفاً (Rustling) على شكل ضربات مشيراً الى عدم استمرارية الحركة ويعرف ذلك بتأثير باركها وسن (Barkhausen)

باستعمال اي مميزات تمغظ يمكن اشتقاق قيم الانفاذية النسبية العائدة الى قيم شدة المجال المغناطيسي او كثافة التدفق من العلاقة $B = \mu_0 \mu_r H$. ان المميزات الناتجة موضحة في شكل 28.4



شكل 28.4 مميزات الانفاذية النسبية

مما يجب ملاحظته ان الجزء الاول من المميزات H-B قد ضخم وهو الجزء الذي تنمو فيه التكتلات دون ان تدور . ومن الناحية العملية تكون صغيرة وكلما كانت اصغر كان تمثيل حيز الجزء من المميزات أكثر استقامة . وهذا السبب نجد في حسابات كثير من الدوائر المغناطيسية اعتبار الانفاذية النسبية ثابتة

مسائل على عناصر الكهر ومغناطيسية

1. سلك مستقيم طوله 0.7 متر يحمل تياراً « مقداره 100 أمبير ويقع متعامداً » مع مجال مغناطيسي قيمته 1 تسلا . اوجد القوة الميكانيكية المسلطة على الموصل ، وبين بالرسم توزيع المجال المغناطيسي واتجاه التيار والقوة المسلطة على الموصل

10 N

- 2- قضبان مجمعان * (Busbars) يبعدان عن بعضهما 100 ملمتر ومستندان على عوارض موزعة على مسافة كلل متر من الطول . يحمل كل منهما تياراً مقداره 15 كيلوأمبير ما مقدار القوة المسلطة على كل عازل

450 N

3. ملف مربع الشكل يصنع مستويه زاوية مقدارها 45° مع اتجاه مجال منتظم كثافته 0.4 تسلا . فإذا كان ضلع الملف يساوي 100 ملم وعدد لفاته 500 لفة ، احسب التيار الذي يجب ان يمر ليتنج عزمًا مقداره 3 نيوتن-متر حول المحور المتعادل للملف .

2.12 A

4. قوة دافعة كهربائية قيمتها 1.5 فولت احتتت في موصل مستقيم يتحرك بسرعة مقدارها 5 متر بالثانية عمودياً على مجال مغناطيسي كثافته 0.75 تسلا احسب الطول الفعال للموصل

0.4 m

5. وصلية تدفق مغناطيسية ل 1800 لفة من مغناطيس كهربائي تتغير بانتظام من 0.6 ملي وبيراى 0.5 ملي وبيرفي 50 ملي ثانية . اوجد قيمة متوسط الق . د . ك . المحتنة .

3.6 V

6. مولد تيار مستمر ذو أربعة أقطاب . يتنج كل قطب منه تدفقاً مقداره 20 ملي وبير . يدور متحرضه (armature)° بسرعة 1200 دورة بالدقيقة ، ويمكن افتراض أن موصلات المتحرض تقطع التدفق بزوايا قائمة . ما مقدار القيمة المتوسطة للق . د . ك . المحتنة في كل موصل من موصلات المتحرض .

1.6 V

القضيب المجمع هو موصل سميك يستخدم لغرض توزيع التيار الكهربائي

المتحرض (Armature) عبارة عن الجزء الأسطواني الدوار من المولد والذي يحمل موصلات داخل شقوق طولية فيه بشكل ملفات ويمر في هذه الملفات تيار . وترجم في بعض الكتب بكلمة غالـسول (المترجمان)

- 7 . موصل طوله الفعال 250 ملي متر يتحرك بسرعة 5 متر بالثانية عمودياً على مجال مغناطيسي كثافة تدفقه المنتظم 0.24 تيسلا احسب .
أ - الق . د . ك . المحتثة في الموصل .
ب - القوة المسالطة على الموصل حينما يحمل تياراً مقداره 20 أمبير
ج - القدرة اللازمة لتحريك الموصل .
وضح بالرسم الاتجاهات النسبية للمجال وحركة الموصل والق . د . ك . المحتثة

0.3 V, 1.2 N, 6.0 W (SANCAD)

- 8 . سلك مستقيم طوله متر واحد يحمل تياراً مقداره 100 أمبير ويقع متعامداً مع مجال مغناطيسي منتظم قيمته 1.5 تيسلا . اوجد القوة الميكانيكية على الموصل واحسب القدرة اللازمة لتحريك السلك بسرعة 10 متر بالثانية في مستوى يصنع زوايا قائمة مع المجال .

150 N, 1.5 kW

الفصل الخامس

تطبيقات النظرية الكهرومغناطيسية

بعد ان قدمنا الاسس الفيزيائية للكهرومغناطيسية ، نجد من الضروري ان نركز على النقاط المهمة والتي تهتم المهندس ونظراً لوجود عدد من الطرق لتطبيق النظرية فان هذا الفصل سيشمل عدة مواضيع منفصلة بخلاف التسلسل المعهود في بقية الفصول .

1-5 المحاعة الذاتية (Self-inductance)

عند مرور تيار في لفائف (winding) فانه يتسبب فيه مجال مغناطيسي ومن ثم ينتج منظومه وصلية التدفق . لقد لاحظنا في الفقرة 6-4 بأنه عند تغير وصلية التدفق هذه تتولد ق . د . ك . في الدائرة والتي تعطى بالمعادلة :-

$$e = \frac{d\psi}{dt} = N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

يمكن ملاحظة تأثير الق . د . ك . من القياسات في الدائرة الكهربائية . وحيث أن التدفق يتسبب عن التيار ، فانه ينتج من ذلك ان الق . د . ك . تتناسب مع سرعة تغير التيار .

$$e \propto \frac{d\phi}{dt} \propto \frac{di}{dt}$$

$$e = L \cdot \frac{di}{dt}$$

(5.1)

حيث L هو ثابت مناسب يسمى المحاعة

المحاعة

الرمز : L

الوحدة: هنري (H)

ان الق . د . ك . في الملفات تحتت كاملاً بصورة ذاتية ولذلك تدعى هذه المحاعة بالمحاعة الذاتية . وتعرف وحدة المحاعة بالهنري . وهي تلك المحاعة لدائرة مغلقة تتولد فيها ق . د . ك . مقدارها فولت واحد عند مرور تيار كهربائي في الدائرة يتغير بصورة منتظمة بمعدل أمبير واحد بالثانية .

ومحاعة الملف ليست بثابت مطلق ، لذلك فان العلاقة (5-1) يمكن كتابتها بشكل اعم كما يلي :

$$e = \frac{d(Li)}{dt} = \frac{d\psi}{dt}$$

$$\psi = Li$$

$$L = \frac{\psi}{i} = \frac{N\phi}{i}$$

(5.2)

من ذلك يمكننا القول ان دائرة مالها محاطة مقدارها هنري واحد اذا نتج وبير - لفة واحدة من وصلية التدفق عن تيار مقداره أمبير واحد في الدائرة. وبغض النظر عن كيفية تعريف المحاطة فان لها دوراً مهماً في ربط المنظومات المغناطيسية والكهربائية بدلالة تأثيرات المنظومة الكهربائية.

لقد اعطيت العلاقة (5.2) بالقيم الانية لان محاطة الدائرة ليست بالضرورة ان تكون ثابتة ، حيث تعتمد على شكل المميزات المغناطيسية والتي تنتج في حالة المواد المغناطيسية الحديدية انفاذية نسبية ذات قيمة متغيرة ، وان ذلك ينتج تغيراً في نسبة ϕ / i واذا فرضنا ان المميزات المغناطيسية خطية تقريباً لغاية اكبر كثافة تدفق مستعملة فان المحاطة تكون ثابتة تقريباً وعند غياب اي مادة مغناطيسية حديدية فان المميزات المغناطيسية تكون خطأ مستقيماً وتكون المحاطة الذاتية ثابتة .

وأخيراً فان محاطة اي دائرة تعتمد على تركيب الدائرة وعدد اللفات والانفاذية النسبية للمواد المكونة لها . وسناقش في فصول لاحقة تأثيرات المحاطة على الشبكات الكهربائية . الا انه من الضروري تكوين العلاقة بين المحاطة والكميات المغناطيسية والكهربائية قبل البدء في ذلك بشكل مرضي

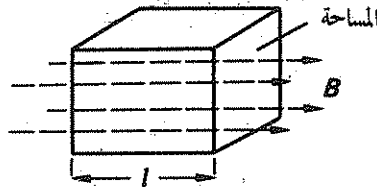
2.5 المعاوقة (Reluctance) والمنافذة (Permeance)

في دائرة مغناطيسية كاملة يمكن ربط الق . د . غ . مع التدفق في الدائرة بثابت يدعى معاوقة الدائرة المغناطيسية . وهذا ما يقابل المقاومة في الدوائر الكهربائية وكما في حالة الدائرة الكهربائية يمكننا تجزئة الدائرة المغناطيسية الى اجزائها . وفي هذا الصدد يؤخذ التغير في الجهد المغناطيسي كمقابل للاق . د . غ . ، كما يعتبر فرق الجهد المغناطيسي مناظراً لفرق الجهد الكهربائي . وكذلك الق . د . غ . مناظرة للاق . د . ك .

فرق الجهد المغناطيسي الرمز: F الوحدة: أمبير - لفة (Ampere turn)

فرق الجهد المغناطيسي هو تلك الطاقة المطلوبة لتحريك وحدة الاقطاب المغناطيسية بين نقطتين . ويكون مجموع فروق الجهد حول دائرة ما مساوية للاق . د . غ .

أما المعاوقة فتعتمد على الابعاد الفيزيائية للدائرة المغناطيسية كما كانت الحال في المقاومة وكذلك على المواد المصنوعة منها .



شكل 1-5 اشتقاق المعاوقة

لنفرض جزءاً من مجال مغناطيسي منتظم ، كما مبين في شكل 1-5 فإنه لقطع المجال المبين في الشكل يكون :

$$\begin{aligned}
 F &= HI \\
 &= \frac{Bl}{\mu_0 \mu_r} \\
 &= \frac{\Phi l}{\mu_0 \mu_r A} \\
 F &= \Phi S \quad (5.3)
 \end{aligned}$$

حيث S تدعى بالمعاوقة .

الوحدة: مقلوب الهنري (H)
او امبير - لفة لكل ويبر (At/Wb)

الرمز : S

$$S = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A} \quad (5.4)$$

وكبديل لذلك :

$$\Phi = F\Lambda \quad (5.5)$$

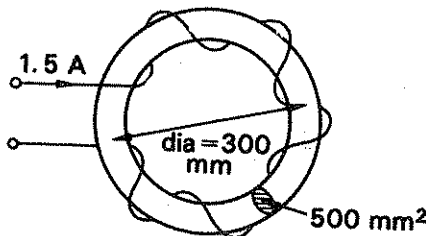
حيث

$$\Lambda = \frac{1}{S} = \frac{\mu_0 \mu_r A}{l} \quad (5.6)$$

تدعى بالنافذة .

النافذة الرمز : Λ الوحدة : هنري (H)

مثال (1-5) حلقة مساحة مقطعها 500 ملم² ومتوسط قطرها 300 ملم لف عليها موصل مكون من 100 لفة . فاذا كانت الانفاذية النسبية تساوي 560 وكان التيار المار في الملف 1.5 أمبير احسب التدفق في الحلقة .



شكل 2-5

$$F = NI = 100 \times 1.5 = 150 \text{ At}$$

$$\Lambda = \frac{\mu_0 \mu_r A}{l} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 560 \times 500 \times 10^{-6}}{300\pi \times 10^{-3}}$$

$$= 373 \times 10^{-9} \text{ H}$$

$$\Phi = F\Lambda = 150 \times 373 \times 10^{-9} = 56 \times 10^{-6} \text{ Wb}$$

$$= \underline{56 \mu\text{Wb}}$$

المحثة الذاتية لدائرة مغناطيسية يمكن اشتقاقها بدلالة المعاوقة كما يلي :

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

$$= \mu_0 \mu_r \frac{NI}{l}$$

$$\Phi = BA$$

$$= \mu_0 \mu_r \frac{NIA}{l}$$

$$L = \frac{N\Phi}{I}$$

$$= \frac{N}{I} \cdot \mu_0 \mu_r \frac{NIA}{l}$$

$$= \frac{N^2}{S}$$

(5.7)

$$= N^2 \Lambda$$

(5.7.1)

واخيراً من المفيد أن نعود الى بعض وحدات القياس التي مر ذكرها ، فمن التعريف :

$$L = \frac{N\phi}{i}$$

لاحظنا أن اللفة هي ليست وحدة قياسات ولكنها معامل بلا بعد (dimensionless factor) وكنتيجه لذلك يكون الهنري مساوياً لويبر لكل امبير .

$$S = \frac{F}{\phi} = \frac{Ni}{\phi}$$

في المقدار المعطي للمعاوقة ، يمكن ملاحظة انها تساوت مع التيار لكل وحدة تدفق . اي انها قيست بالامبير لكل ويبر . وبالمقارنة مع المناقشة السابقة يمكن اختصار وحدة القياس الى مقلوب الهنري

$$S = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}$$

$$\mu_0 = \frac{l}{S \mu_r A}$$

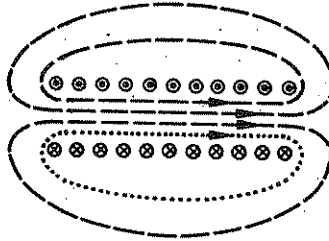
اما بالنسبة للابعاد فان الانفاذية المطلقة تقاس بالامتار لكل متر مربع لكل مقلوب هنري وهذه يمكن تبسيطها الى هنري لكل متر.

3-5 الحادثة الذاتية للملف لولبسي (Solenoid) طويل

يبين الشكل 3-5 مقطعاً عرضياً للملف لولبسي طويل . فاذا كان طول الملف مقداره l فانه يجب ان يكون أكثر بكثير من العرض d ، ولنفرض مثلاً عشرة اضعاف . وانه يحتوي على N من اللفات . يمكننا بعد ذلك افتراض ما يلي :

- 1- تكون شدة المجال خارج الملف صفراً تقريباً .
- 2- تكون شدة المجال داخل الملف منتظمة .

يمكن توضيح هذه الافتراضات بالمجال المؤشر في شكل 2-5 بخطوط قوة قبلية والتي تزدحم داخل الملف مشيرة الى شدة مجال عالية نسبياً ومنتعدة خارج الملف مشيرة الى قوة مغناطيسية ضعيفة .



شكل 3-5 المجال المغناطيسي حول ملف لولبسي طويل

اذا فرضنا ان شدة المجال منتظمة داخل الملف ، ولنفرض ان قيمتها H . وان تيار اللفائف الذي انتجها يساوي I ، فانه عند تطبيق قانون الشغل لامي مرمغلق وليكن الممر المنقط في الشكل ، فان الشغل الكلي حول مرمغلق يساوي الامبير - لفة التي توصل ، وحيث انه ليست هناك شدة مجال خارج الملف ، فان انجاز الشغل يكون للطول l داخل الملف

$$HI = IN$$

$$H = \frac{NI}{l}$$

(5.8)

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

كذلك

$$= \mu_0 \mu_r \frac{NI}{l}$$

إذا كانت مساحة المقطع العرضي للملف الذي يمر التدفق منه هي A فان :

$$\begin{aligned}\Phi &= BA \\ &= \mu_0 \mu_r \frac{NIA}{l} \\ L &= \frac{\Phi N}{I} \\ &= \mu_0 \mu_r \frac{NIA}{l} \cdot \frac{N}{I} \\ &= \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{l} \quad (5.9) \\ &= \frac{N^2}{S}\end{aligned}$$

كما مر سابقاً
وهذا الحل يقترب من القيمة المضبوطة للمحاثة الذاتية للملف لولبي ، حيث يمكن الحصول على حل أكثر دقة بطرق أخرى إلا أنها تحتوي على عمليات رياضية ذات مستوى عال .
ان الملف اللولبي هو عبارة عن لفائف اعتيادية بسيطة الصنع ، ويمكن ملاحظته في المرحلات (Relays)* والمحاثات (Inductors) والمحولات الصغيرة وبنفس الشكل المفترض اعلاه .

مثال (2:5) ملف لولبي طوله 800 ملم وقطره 20 ملم . لف بشكل منتظم وكان عدد لفاته 1000 لفة . احسب المحاثة الذاتية للملف مفترضاً انه ذولب هوائي (Air cored) ثم احسب كثافة التدفق داخل الملف عندما يمر فيه تيار مقداره أمبير واحد .

$$S = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{800 \times 10^{-3} \times 4}{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times \pi \times 2^2 \times 10^{-4}}$$

$$= 20.3 \times 10^8 \text{ At/Wb}$$

$$L = \frac{N^2}{S} = \frac{1000^2}{20.3 \times 10^8} = 4.94 \times 10^{-4} \text{ H} = \underline{494 \mu\text{H}}$$

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{1000 \times 1}{800 \times 10^{-3}} = 1250 \text{ At/m}$$

$$B = \mu_0 \mu_r H = 4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 1250 = 1.57 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$= \underline{1.57 \text{ mT}}$$

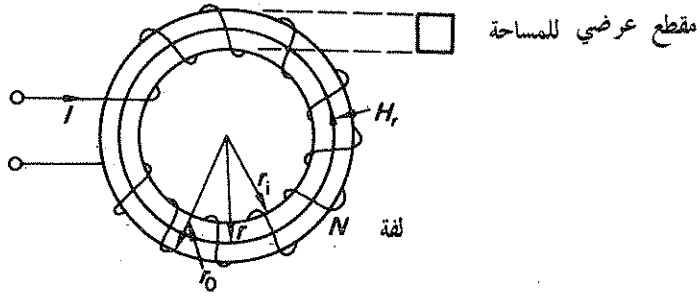
* ترجم كلمة relay أحياناً بالمناول أو المتابع

(المترجمان)

4.5 الحثية الذاتية للملف حلقي (Toroid) منتظم اللوائف

الملف الحلقي هو عبارة عن ملف بشكل حلقة . لذا فان اللوائف بهذا الشكل هي التي تلف على حلقة لتشكيلها . وبالرغم من انه من غير الممكن عملياً انتاج ملف حلقي ذي لفات منتظمة تماماً فان من المناسب دراسة هذا النوع من الملفات ضمن مبادئ المغناطيسية . كما انه ذو اهمية في فحص المواد المغناطيسية .

يبين الشكل 4-5 لفات ملف حلقي عددها N تحمل تياراً مقداره I



شكل 4-5

عند تطبيق قانون الشغل على ممر نصف قطره r داخل اللب (core) ، تكون القوة المسلطة على وحدة القطب المغناطيسي في أي نقطة في الممر مساوية لـ H_r . لذلك يكون :
الشغل الكلي المنجز حول الممر المقفل يساوي عدد الامبير - لفة الموصلة

$$2\pi r H_r = NI$$

$$H_r = \frac{NI}{2\pi r} \quad (5.10)$$

وفي الحافة الداخلية حيث $r = r_i$:

$$H_i = \frac{NI}{2\pi r_i}$$

وفي الحافة الخارجية حيث $r = r_o$:

$$H_o = \frac{NI}{2\pi r_o}$$

ومن ذلك يمكن حساب قيمة شدة المجال المغناطيسي داخل اللب . ويمكن ملاحظة ان شدة المجال المغناطيسي تتناقص مع زيادة نصف القطر ، فاذا كان الملف الحلقي ذا متوسط نصف قطر أكبر بكثير من سمك مساحة مقطعه العرضي $(r_o - r_i)$ تكون H_i « مساوية تقريباً لـ H_o . ومن ذلك يمكن افتراض ان شدة المجال المغناطيسي في أي نقطة في المقطع العرضي تعطى بـ H ، حيث H هي شدة المجال المغناطيسي في نصف القطر المتوسط .

$$H = \frac{NI}{2\pi r_{av}} \quad (5.10.1)$$

حيث r_{av} هو متوسط نصف القطر .
كذلك

$$B = \mu_0 \mu_r H \\ = \frac{\mu_0 \mu_r NI}{2\pi r_{av}}$$

إذا كانت مساحة المقطع العرضي للملف الحلقي تساوي A فان :

$$\Phi = BA \\ = \frac{\mu_0 \mu_r NIA}{2\pi r_{av}}$$

وعلى فرض ان التدفق يوصل كافة اللفات

$$L = \frac{\Phi N}{I} \\ = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{2\pi r_{av}} \quad (5-11) \\ = \frac{N^2}{S} \quad \text{كما مر سابقاً}$$

مثال (3-5) :

ملف حلقي ليه من الخشب ومتوسط قطره 400 ملم ومساحة مقطعه العرضي 400 ملم² لف عليه 1000 لفه تحمل تياراً مقداره 2 أمبير احسب المحاطة الذاتية للملف والى د.ك. المحتته فيه ، عندما يتناقص التيار الى الصفر في وقت مقداره 10 ملي ثانية .

$$L = \frac{N^2}{S} = \frac{N^2 \mu_0 \mu_r A}{l} = \frac{1000^2 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 400 \times 10^{-6}}{0.4\pi} \\ = 4 \times 10^{-4} \text{ H} \\ = 0.4 \text{ mH}$$

$$E = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = 0.4 \times 10^{-3} \times \frac{2}{10 \times 10^{-3}} = 0.08 \text{ V}$$

5-5 المحاطة التبادلية (Mutual Inductance)

إذا وضعت دائرتان قريباً من بعضهما البعض بحيث يؤدي ذلك الى أن يوصل التدفق الناتج من احدهما الدائرة الأخرى . لنتج ان هناك تدفقاً مشتركاً بين الدائرتين يدعى بالتدفق التبادلي (Mutual Flux) فإذا تغير التيار في الدائرة الاولى فان التدفق يتغير أيضاً . مما يولد ق. د.ك. في الدائرة الثانية وهذا التأثير يدعى بالمحاطة التبادلية .

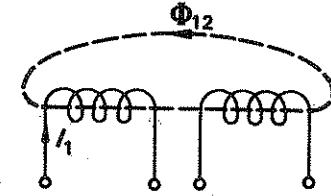
يقال عن دائرتين أن بينهما محاثة تبادلية مقدارها هنري واحد اذا احتضنت ق. د.ك. مقدارها فولت واحد في احدهما عندما يتغير التيار المار في الدائرة الثانية بمعدل أمبير واحد بالثانية .

المحاثة التبادلية الرمز: M الوحدة هنري (H).

يتبع من ذلك أن الق. د.ك. المحتتمة تعطى بالعلاقة التالية بشرط أن تكون المحاثة التبادلية ثابتة

$$e = M \cdot \frac{di}{dt} \quad 5-12$$

يمكن ايجاد العلاقة بين المحاثة التبادلية والمحاثة الذاتية للدوائر المكونة بالرجوع الى الملفين المبروتين كما في الشكل 5-5 . يكون التدفق الناتج من التيار I_1 في الملف الاول والذي عدده لقاته N_1 يساوي Φ_1 وهو التدفق الكلي . ومن هذا التدفق نجد أن Φ_{12} k_{12} يوصل الملف الثاني ، لذلك نجد من التعريف :



شكل 5-5 ملفان يوصلان بتدفق تبادلي

$$L_1 = \frac{\Phi_1 N_1}{I_1}$$

وبشكل مشابه يمكن تعريف المحاثة الذاتية . لذا :

$$M_{12} = \frac{k_{12} \Phi_1 N_2}{I_1}$$

$$\Phi = \frac{F}{S} = \frac{NI}{S} \quad \text{ولكن}$$

$$\frac{\Phi}{I} = \frac{N}{S}$$

$$M_{12} = \frac{k_{12} \Phi_1 N_2}{I_1} = \frac{N_1 N_2}{S}$$

لذا

حيث S هي معاوقة مرور التدفق المشترك .

وإذا عكسنا الوضعية بامرار تيار I_2 في الملف 2 منتجاً نفس وصلية التدفق التبادلي كما في الحالة السابقة ،

لذا

• إن $k_{12} \Phi_1$ تكون أقل من Φ_1 حيث أن العامل k_{12} أقل من الواحد .

(المترجمان)

$$L_2 = \frac{\Phi_2 N_2}{I_2}$$

$$M_{21} = \frac{k_{21} \Phi_2 N_1}{I_2}$$

$$= \frac{N_2 N_1}{S}$$

$$M_{12} = M_{21} = M$$

لذا
كذلك

$$M^2 = M_{12} M_{21}$$

$$= \frac{k_{12} \Phi_1 N_2 k_{21} \Phi_2 N_1}{I_1 I_2}$$

$$= k_{12} k_{21} L_1 L_2$$

$$= k^2 L_1 L_2$$

$$M = k(L_1 L_2)^{\frac{1}{2}}$$

(5.13)

ان معامل الاقتران k (Coefficient of Coupling) له قيمة عظمى تساوي الواحد وذلك عندما يقطع كل التدفق الذاتي لاحدهما الملف الاخر. بينما تكون قيمته في كافة الحالات الاخرى اقل من الواحد لان التدفق التبادلي يكون اقل من التدفق الذاتي ان اللب المغناطيسي الحديدي للملف يمثل اقرب حالة من وضع الاقتران التام. فلقد افترضنا ان نسبة تدفق الملف الى تيار الملف ثابتة ، لذا فان القيم الآتية لم تستعمل في النظرية السابقة. اما في حالة تغير هذه النسبة فان العلاقة بين القيم الآتية تبقى صحيحة ايضاً.

مثال (4.5) حلقة مغناطيسية مساحة مقطعها العرضي 800 ملم² ومتوسط نصف قطرها 170 ملم فيها مجموعتان من اللفائف مربوطتان على التوالي ، احدهما ذات 500 لفة والاخرى ذات 700 لفة. اذا كانت الانفاذية النسبية تساوي 1200 احسب المحاثة الذاتية لكل من الملفين والمحاثة التبادلية بينهما على فرض عدم وجود تسرب تدفقي (Flux leakage)

$$S = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{2\pi \times 170 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 1200 \times 800 \times 10^{-6}}$$

$$= 8.85 \times 10^5 / \text{H}$$

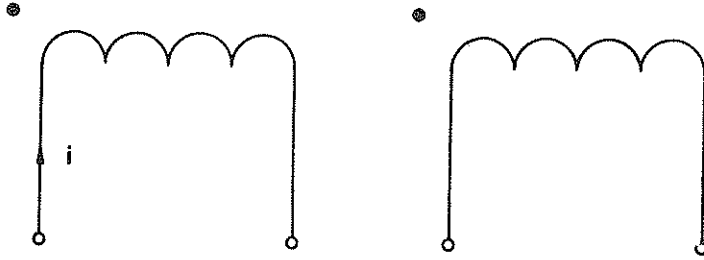
$$L_1 = \frac{N_1^2}{S} = \frac{500^2}{8.85 \times 10^5} = 0.283 \text{ H}$$

$$L_2 = \frac{N_2^2}{S} = \frac{700^2}{8.85 \times 10^5} = 0.552 \text{ H}$$

$$M = k(L_1 L_2)^{\frac{1}{2}} = 1 \times (0.283 \times 0.552)^{\frac{1}{2}} = 0.395 \text{ H}$$

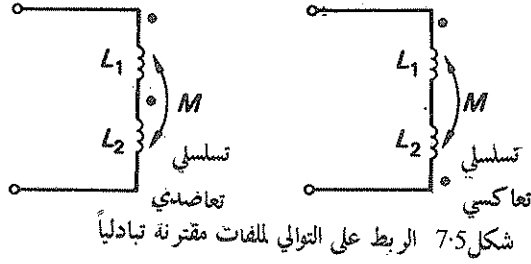
في المثال (4-5) ربط الملفان على التوالي . الا أن كيفية لف احدهما بالنسبة للآخر لم تذكر ، حيث أن اتجاه التدفق الناتج في احدهما يعتمد على هيئة لف الملف الثاني وذلك اما أن يضاف أو يطرح من التدفق الناتج من الملف الاول كما سيتضح ذلك فيما بعد لذا نجد أن دائرتين بينهما اقتران حتى يكون اتجاه الق . د . ك . النسبية في كل ملف معتمداً على الاتجاه النسبي للفائف وعلى الوضع النسبي لها .

لقد اصطلح على نظام استعمال رمز النقاط للتعريف بالاتجاهات . ففي أي لحظة يمكن أن نعتبر ان التيار يدخل الملف الاول من نهاية محددة بواسطة وضع نقطة مجاورة لها ، كما يمكن وضع نقطة ثابتة مجاورة لطرف الملف الثاني الذي يدخل منه التيار بنفس تلك اللحظة لكي يزيد من التدفق ، وذلك كما مبين في الشكل 6-5 .



شكل 6-5 رمز النقاط

ان الاتجاه النسبي لـ ق . د . ك . يمكن اشتقاقه الآن . ونبدأ بفرض ان الفولتية تسلط على الملف الاول فاذا ادى ذلك الى اعتبار النهاية المنقطعة موجبة بالنسبة الى النهاية غير المنقطعة فان التيار يدخل من النهاية المنقطعة ويزداد بالمقدار بسبب زيادة فرق الجهد عبر الملف . ان هذا التغيير في التيار يسبب تكوين ق . د . ك . في الملف الاول ناتجة من زيادة وصلية التدفق الذاتي وكذلك في الملف الثاني نتيجة زيادة وصلية التدفق التبادلي . ان الق . د . ك . في الملف الاول تعاكس التيار ، ولذلك تجعل النهاية المنقطعة موجبة بالنسبة للنهاية غير المنقطعة ، اي انها تعاكس التبغير في وصلية التدفق . كما ان الق . د . ك . المحتثة في الملف الثاني تجعل التيار مغادراً للنهاية المنقطعة في ذلك الملف . لذلك فانه في كل من الملفين تعمل النهايتان المنقطعتان لكي تكونا موجبتين بالنسبة للنهايتين غير المنقطعتين فسي أن واحد . مما سبق يتبع انه كان بالامكان ربط الملفين على التوالي بطريقتين بحيث يوصلان تبادلياً . وهاتان الطريقتان تكونان بحيث : ان التيار المشترك يدخل النهايتين المنقطعتين للفائف . اي ان كلاهما يولد تدفقاً بنفس الاتجاه . أو بحيث : عند دخول التيار النهاية المنقطعة لأحد الملفين فانه يغادر النهاية المنقطعة للملف الاخر بنفس الوقت . وهاتان الوضعيتان تسميان بالوضع التواليي التعاضدي (Series Aiding) والوضع التواليي التعاكسي (Series Opposing) على التعاقب . وبين الشكل 7-5 كيفية الربط المذكور .



في الحالة الأولى نغرض ان التيار يتغير بمعدل di/dt . فان الق . د . ك . في الدائرة تساوي ال
ق . د . ك . المحتثة ذاتياً مضافاً اليها بالقيمة الق . د . ك . المحتثة تبادلياً وفي حالة الربط التعاضدي تكون
النهايتان المنقطتان موجبة بالنسبة للنهايتين غير المنقطتين .

$$\begin{aligned}
 e &= L_1 \cdot \frac{di}{dt} + L_2 \cdot \frac{di}{dt} + M \cdot \frac{di}{dt} + M \cdot \frac{di}{dt} \\
 &= (L_1 + L_2 + 2M) \frac{di}{dt} \\
 &= L \cdot \frac{di}{dt}
 \end{aligned}$$

حيث L هي المحاثة المؤثرة في الدائرة .

$$L = L_1 + L_2 + 2M \quad (5.14)$$

اما اذا ربط الملفان بالتعاكس ، فان قطبية الق . د . ك . المحتثة تبادلياً تنعكس ، لذا

$$\begin{aligned}
 e &= L_1 \cdot \frac{di}{dt} + L_2 \cdot \frac{di}{dt} - M \cdot \frac{di}{dt} - M \cdot \frac{di}{dt} \\
 &= (L_1 + L_2 - 2M) \frac{di}{dt} \\
 &= L \cdot \frac{di}{dt}
 \end{aligned}$$

$$L = L_1 + L_2 - 2M \quad (5.15)$$

مثال (5-5)

وجد عند ربط ملفين على التوالي ان المحاثة الفعالة لهما تساوي 10 هنري . كما وجد عند ربط احدهما

بعكس الاتجاه ان المحاطة الفعالة تساوي 6 هنري فاذا كان معامل الاقتران يساوي 0.6 ، احسب المحاطة الذاتية لكل من الملفين والمحاطة التبادلية بينهما .

$$L = L_1 + L_2 \pm 2M = L_1 + L_2 \pm 2k(L_1 L_2)^{\frac{1}{2}}$$

$$10 = L_1 + L_2 + 2k(L_1 L_2)^{\frac{1}{2}}$$

$$6 = L_1 + L_2 - 2k(L_1 L_2)^{\frac{1}{2}}$$

$$8 = L_1 + L_2$$

$$10 = 8 - L_2 + L_2 + 1.2(8L_2 - L_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$0 = L_2^2 - 8L_2 + 2.78$$

$$\therefore L_2 = \underline{7.63 \text{ H or } 0.37 \text{ H}}$$

$$\therefore L_1 = \underline{0.37 \text{ H or } 7.63 \text{ H}}$$

$$2M = 10 - 7.63 - 0.37$$

$$M = \underline{1.0 \text{ H}}$$

6.5 ا. ق. د . ك المحتنة في دائرة

$$e = L \cdot \frac{di}{dt}$$

سبق ان بينا أن

بالرغم من ان هذا المقدار يعطي قيمة ا. ق. د . ك ؛ نجد انه يغفل ذكر مسألة القطبية . فعند تسليط قوة على منظومة ميكانيكية فانها تعطي رد فعل ينتج التشويه او التعجيل الكتلي او فقدان او امتصاص الطاقة . هناك حالة مشابهة* وهي عند تسليط قوة (فولتية) على منظومة كهربائية فان قسماً منها يسبب تعجلاً (قبول طاقة مغناطيسية في المحث) او يفقد كطاقة حرارية (في المقاوم) . وعند المقارنة مع حالة التشويه فانها تشابه تقبل الطاقة الكامنة في المتسعة والذي سيناقش في الفصل السادس . أما في حالة الدائرة المربوطة على التوالي والمحتوية على ملف ومقاومة فانه :

$$v = Ri + L \cdot \frac{di}{dt}$$

هناك مدرستان فكريتان للاستمرار بالموضوع حيث ان احدهما تنص على :

$$v = v_R + e_L$$

$$v = v_R - e_L$$

والاخرى تنص على

$$= v_R + v_L$$

وذلك يستوجب ان

$$e = -L \cdot \frac{di}{dt}$$

يقارن المؤلفان هنا بين المنظومات الميكانيكية والمنظومات الكهربائية للتوضيح

(المترجمان)

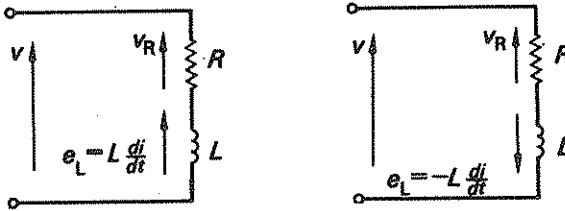
ان الفكرة وراء التفسير الثاني هو الرغبة في تشخيص مكونات الدائرة الفعالة والتي تشمل البطاريات والمولدات وكذلك المحثات والمتسعات (بسبب أنها تخزن الطاقة) . يمكن للمتسعات المشحونة ان تعمل كبطاريات لفترة قصيرة وبالتالي فان البطاريات تمتلك ق.د.ك. بحيث أنه عندما تكون البطاريات جزءاً من دائرة مجهزة من مصدر فولتيه فانها تعاكس مرور التيار خلالها من الطرف الموجب الى الطرف السالب . وبشكل مشابه فان المحث (Inductor) يعاكس الزيادة في التيار فيه باظهاره ق. د. ك. معاكسة للفولتية المسلطة .

ان الطريقة الاولى تشير الى أن الفولتية الوحيدة الممكن قياسها هي الفولتية المسلطة وهذه

$$v_L = +L \cdot \frac{di}{dt}$$

ان استخدام الاشارة موجبة اوسالبة في المعادلة اعلاه له ما يبرره .

وبالرغم من ان المعهد العالمي الكهروتقني يفضل الطريقة الثانية فاننا سنستخدم في هذا الكتاب الاصطلاح الموجب .

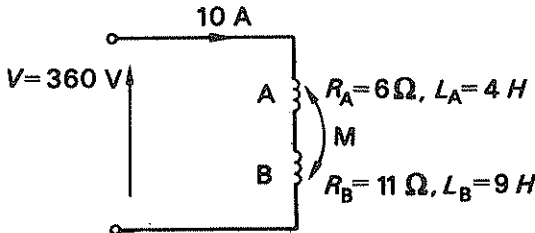


شكل 8-5 قطبية ق. د. ك. في مخطط دائرة

كما ستلاحظ أن الاصطلاح الموجب للعلاقة يظهر أكثر منطقية في مخطط الدائرة حيث يبين الشكل 8-5 كلا الاصطلاحين . فاذا اخذت الق.د.ك. المحتثة على أنها هبوط الفولت الفعال ، فانه يمكن تمثيلها بسهم يؤشر للاعلى ، بينما اذا استعمل الاصطلاح السالب فان اتجاه السهم يجب ان يشير الى نفس اتجاه سريان التيار .

مثال (6-5) ملفان مقترنان تبادلياً (B,A) ومربوطان على التوالي الى مصدر تيار مستمر ل 360 فولت . يحوي الملف A مقاومة مقدارها 6 أوم ومحاثة مقدارها 4 هنرى ويحوي الملف B مقاومة 11 أوم ومحاثة 9 هنرى . وفي لحظة معينة بعد تغذية الدائرة كان التيار 10 أمبير ويزداد بسرعة 10 أمبير بالثانية . احسب :
أ- المحاثة التبادلية بين الملفين

ب- معامل الاقتران .



شكل 9-5

$$V = iR + L \cdot \frac{di}{dt}$$

$$360 = 10(6 + 11) + 10L$$

$$L = 19$$

$$= L_A + L_B + 2M = 4 + 9 + 2M$$

$$M = 3 \text{ H}$$

$$M = k(L_A L_B)^{\frac{1}{2}}$$

$$3 = k(4 \times 9)^{\frac{1}{2}}$$

$$k = 0.5$$

مثال (7.5) ملف ذو مقاومة 4 أوم ومحاثة 0.8 هنرى ، يمر فيه تيار يتغير كما يلي :

أ- يزداد بانتظام من صفر - 5 أمبير في 1/4 ثانية

ب- يبقى ثابتاً وبمقدار 5 أمبير لمدة 1/2 ثانية

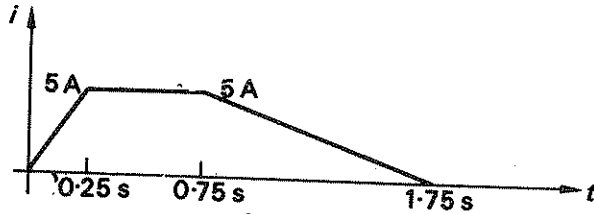
ج- يتناقص من 5 أمبير الى الصفر في ثانية واحدة .

ارسم منحنيًا يبين تغير التيار والد. ق. د. ك. المحثنة والفولتية المسالطة مع الزمن .

$$E_a = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = 0.8 \times \frac{5.0}{0.25} = 16 \text{ V}$$

$$V_b = IR = 5 \times 4 = 20 \text{ V}$$

$$E_c = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = 0.8 \times \frac{-5.0}{1.0} = -4 \text{ V}$$

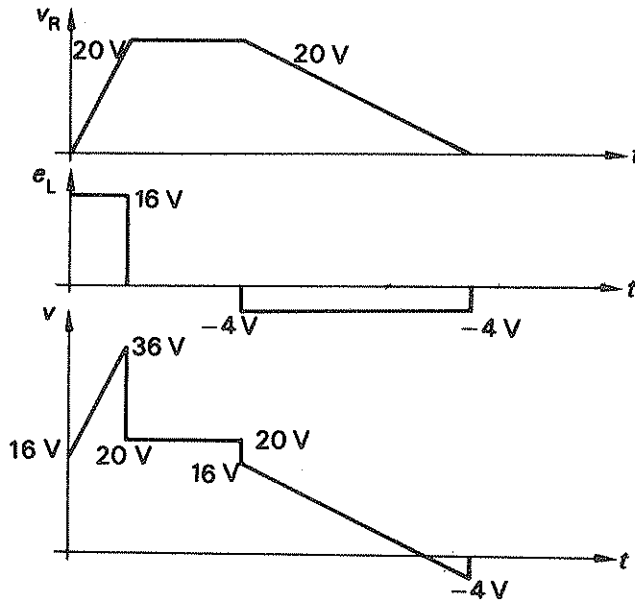


شكل 10.5

يبين الشكل 10.5 منحني التيار والد. ق. د. ك. المحثنة .

اما منحني الفولتية المسالطة فيمكن الحصول عليه من رسم منحني الهبوط في الفولت عبر المقاومة وهذا

الهبوط يجمع مع الد. ق. د. ك. المحثنة للحصول على الفولتية المسالطة كما مبين في شكل 11.5 .



شكل 11-5

مثال 5: 8 ملفان B, A موضوعان بحيث ان $0.8:0$ من التدفق الكلي الناتج من احدهما يوصل الآخر. يحوي الملف A على 2'000 لفة والملف B على 3'000 لفة. عندما يتغير التيار في الملف A بسرعة 500 أمبير بالثانية فان التدفق المتوصل يتغير بسرعة 1 ملي ويبير بالثانية.

اوجد :

- أ- الحثية في كل ملف
- ب- الحثية الذاتية لكل ملف
- ج- الحثية التبادلية لكل ملف
- د- الحثية الفعالة للملفين على التوالي

$$e_A = N_A \cdot \frac{d\phi_A}{dt} = 2000 \times 1 \times 10^{-3} = \underline{2.0 \text{ V}}$$

$$e_B = N_B \cdot \frac{d\phi_B}{dt} = 3000 \times 0.8 \times 1 \times 10^{-3} = \underline{2.4 \text{ V}}$$

$$e_A = L_A \cdot \frac{di_A}{dt} = 2.0 = L_A \times 500$$

$$L_A = 4 \times 10^{-3} \text{ H} = \underline{4.0 \text{ mH}}$$

$$e_B = M \cdot \frac{di_A}{dt} = 2.4 = M \times 500$$

$$M = 4.8 \times 10^{-3} \text{ H} = \underline{4.8 \text{ mH}}$$

$$M = k(L_A L_B)^{\frac{1}{2}}$$

$$4.8 \times 10^{-3} = 0.8(L_B \times 4.0 \times 10^{-3})^{\frac{1}{2}}$$

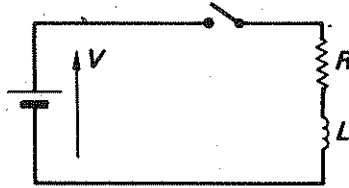
$$L_B = 9.0 \times 10^{-3} \text{ H} = \underline{9.0 \text{ mH}}$$

$$\begin{aligned} L &= L_A + L_B + 2M & \text{or} & & L &= L_A + L_B - 2M \\ &= 4.0 + 9.0 + 2 \times 4.8 & & & &= 4.0 + 9.0 - 2 \times 4.8 \\ &= \underline{22.6 \text{ mH}} & & & &= \underline{3.4 \text{ mH}} \end{aligned}$$

7.5 تخزين الطاقة في المحثات (Inductors)

في الدائرة المبينة في شكل 12.5 يسبب غلق الزر مرور التيار في الدائرة ، وبمضي الزمن يصل التيار وضع الاستقرار حسب المعادلة .

ففي خلال فترة التغيير التي يزداد بها التيار ، تحت ق . د . ك . في المحث نتيجة تغير وصلية التدفق . وهذه الق . د . ك . تعاكس التيار مما يسبب سريانه بعكس الق . د . ك . وعند ازدياد التيار تنقص سرعة التغيير ، مما ينتج عنه انخفاض في الق . د . ك . المعارضة (Back emf) والذي يؤدي الى ازدياد التيار أكثر فأكثر . تخزن الطاقة الكامنة في المجال المغناطيسي بحيث عندما يزداد التيار الى قيمة الاستقرار (Steady value)



شكل 12.5 تخزين الطاقة

ينتج تخزين طاقة كامنة معينة في المجال المغناطيسي . ان الطاقة المصروفة في المجال المغناطيسي في اي لحظة تساوي ei بينما الق . د . ك . تساوي الفولتية المسالطة ما لم يكن هناك هبوط في الفولت ناتج من مقاومة ملف المحث نفسه . ولغرض تبسيط المسألة نفرض ان التيار يزداد بانتظام من الصفر الى قيمته النهائية I في زمن مقداره t .

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I}{\Delta t} &= \frac{I}{t} \\ E &= L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{LI}{t} \end{aligned}$$

لذا فان متوسط التيار خلال فترة التغيير تساوي $\frac{1}{2} I$ نظراً لأن التيار يزداد بمعدل ثابت ولهذا فان الطاقة المجهزة الى المجال W_f تعطى بالمعادلة

$$\begin{aligned} W_f &= E \cdot \frac{1}{2} I \cdot t \\ &= \frac{1}{2} LI^2 \end{aligned} \quad (5.16)$$

وهذا البرهان يحتاج الى أن نفترض ان التيار يزداد بانتظام . أما البرهان الأقرب للواقع فيكون بأخذ تكامل القدرة للفترة الزمنية المستغرقة كما يلي

$$\begin{aligned} ei &= L \cdot \frac{di}{dt} \cdot i \\ \frac{dW_f}{dt} &= Li \cdot \frac{di}{dt} \\ W_f &= \int_0^I Li \cdot di \\ &= \frac{1}{2} LI^2 \end{aligned} \quad (5.16.1)$$

قد لا يكون استخدام التكامل مقبولاً للقارئ في هذه المرحلة ، الا أنه عند اخذ تفاضل الجواب يمكن البرهنة على صحة الاشتقاق .
فاذا ربط محتان على التوالي وامكنهما ان يعملوا سوياً فان الطاقة الكامنة المخزونة تساوي $\frac{1}{2} LI^2$ حيث L هي المحاثة الفعالة للمنظومة . وفي حالة الربط التعاكسي للملفين :

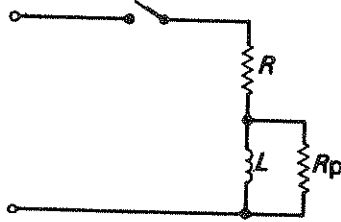
$$\begin{aligned} L &= L_1 + L_2 - 2M \\ W_f &= \frac{1}{2} LI^2 \\ &= \frac{1}{2}(L_1 + L_2 - 2M)I^2 \\ &= \frac{1}{2}L_1 I^2 + \frac{1}{2}L_2 I^2 - MI^2 \end{aligned} \quad (5.18)$$

يمكن تفسير الاشارة السالبة على ان الطاقة الكامنة الناتجة من المحاثة التبادلية تكون معاكسة للطاقة الكامنة الناتجة من المحاثة الذاتية . وبشكل مشابه يكون المقدار للمفات الربط التوالي التفاضلي

$$W_f = \frac{1}{2}L_1 I^2 + \frac{1}{2}L_2 I^2 + MI^2 \quad (5.19)$$

سبق في هذه الفقرة افتراض تأثير تسليط فرق جهد مستمر على الملف ويبقى علينا افتراض تأثير ازالة فرق الجهد بشكل فجائي مع بقاء الدائرة كما مبين في شكل 8-5 :
عند فتح الزر ينخفض التيار للصفر . وهذا يعني انهيار سريع للمجال المغناطيسي للملف ومن ثم ينتج تغييراً سريعاً في وصلبات التدفق . وهذا التأثير يسبب ق . د . لك كبيرة تحت ذاتياً تحاول ان يستمرسريان

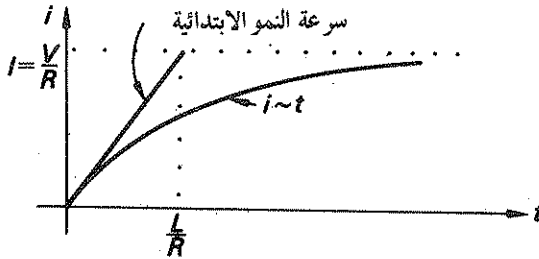
التيار وفق قانون لينز . ان الق.د.ك. المحتثة تكون عادة كبيرة بالمقارنة مع فولتيات الدائرة ، ونظراً لأن الدائرة قد قطعت فان هذه الفولتية تظهر عبر الزر . وهذه الق.د.ك. ذات قيمة عالية بحيث تسبب انهياراً (Breakdown) في الهواء ينتج عنه شرارة تقفز عبر الفجوة بين نقطتي تلامس الزر . وهذا يمكن تلافيه لحد ما بربط مقاوم على التوازي مع المحث كما مبين في شكل 13.5 . ويسبب المقاوم الاخير ان تولد الق.د.ك. المحتثة ذاتياً تياراً حول الدائرة المقفلة ، مما ينتج عنه فقدان الطاقة المخزونة في المجال المغناطيسي .



شكل 13.5 فقدان الطاقة المخزونة

8.5 ثابت الزمن (Time Constant)

يبين الشكل 14.5 منحنى التيار مع الزمن للدائرة المبينة في شكل 12.5 . ويمكن البرهنة على أن هذا المنحنى يرتفع بشكل دالة اسية (Exponential) متجهة الى القيمة النهائية :



شكل 14.5 نمو التيار في دائرة حثية

$$i = \frac{V}{R}$$

وهذا المنحنى يأخذ الشكل الرياضي كما في المعادلة

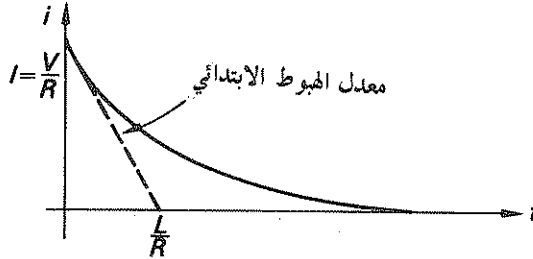
$$i = \frac{V}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L} t} \right) \quad (5.20)$$

حيث e هي أساس اللوغارتمات الطبيعية وتساوي 2.718

ان المعادلة اعلاه ليست ضرورية بصورة عامة لغرض تطبيقها في الحسابات بهذه المرحلة الاولى ، الا أنها تستحق الاهتمام وبالأنحص الأساس e . وتدعى L/R ثابت الزمن للدائرة ويرمز لها بـ T

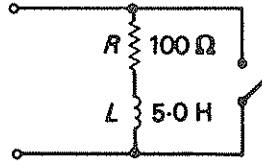
$$T = \frac{L}{R} \quad (5.21)$$

ان ثابت الزمن هو الزمن المطلوب او المستغرق للفولتية والتيار لكي يصلا قيمتهما بوضع الاستقرار اذا ما استمر في التغيير بنفس سرعتيهما الابتدائيتين في التضائل او النمو . ويقصد بالتضائل تناقص الأ. د. ك. المحتنة . وكلما زاد ثابت الزمن فان التيار يحتاج فترة أطول لكي يصل قيمة وضع الاستقرار له . وبالعكس فان تأثيراً معاكساً يحدث عند تحرير الطاقة من المحث



شكل 15-5 هبوط التيار في دائرة حثية

مثال (9-5) ملف محاثته 5 هنرى ومقاومته 100 اوم يحمل تياراً مستقراً قيمته 2 أمبير . احسب سرعة هبوط التيار في الملف مبدئياً بعد ربط زربعمل دائرة قصر عبر طرفيه . ثم احسب مقدار الطاقة المخزونة في الملف وبين اين تنبدد .



شكل 16-5

$$v_R = iR = 2 \times 100 = 200 \text{ V}$$

$$V = v_R + L \cdot \frac{di}{dt}$$

$$0 = 200 + 5 \times \frac{di}{dt}$$

$$\frac{di}{dt} = \underline{-40 \text{ A/s}}$$

$$W_f = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} \times 5 \times 2^2 = \underline{10 \text{ J}}$$

ان هذه الطاقة تبديد بشكل حرارة .
 مثال (10.5) ملف ذو ثابت زمن مقداره ثانية واحدة ومحثته قيمتها 10 هنرى . ما قيمة التيار بعد 0.1 ثانية من غلق الدائرة لكي يكون فرق الجهد المستقر 100 فولت . اوجد كذلك الزمن المستغرق لكي يصل التيار نصف قيمة وضع الاستقرار .

$$T = \tau = \frac{L}{R}$$

$$R = \frac{10}{\tau} = 10 \Omega$$

$$i = \frac{V}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right) = \frac{100}{10} (1 - e^{-0.1}) = \underline{0.952A}$$

وعندما يصل التيار نصف قيمة وضع الاستقرار

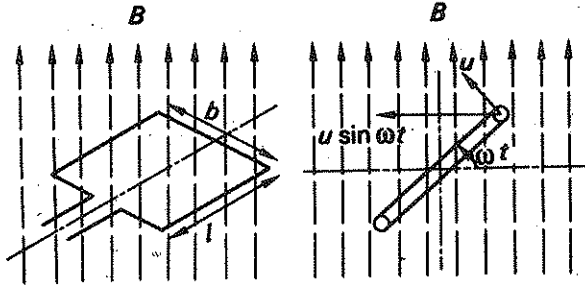
$$i = \frac{V}{2R} = \frac{V}{R} (1 - e^{-t})$$

$$e^{-t} = 0.5$$

$$t = \underline{0.697 \text{ s}}$$

9.5 الملف الدوار في مجال منتظم

لنفرض حالة ملف مستطيل يدور في مجال منتظم بسرعة زاوية ثابتة ، وهذا يمثل ابسط ماكنة كهروديناميكية كما مبين في شكل 17.5 .



شكل 17.5 القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في ملف دوار في مجال منتظم

ان الاق. د. ك. المحتثة تكون حركية . واذا كان محور الملف متعامداً مع المجال فإنه لا يحدث في نهايتي الملف أي ق. د. ك.؛ لذلك فإنه يجب التركيز فقط على ضلعي الملف . لنفرض ان ضلعي الملف كل منهما ذي طول l وان السرعة المحيطية (peripheral velocity) لهذين الضلعين تساوي u . فاذا دار الملف بسرعة زاوية مقدارها ω فإنه في أي لحظة t ، يكون الملف قد دار زاوية مقدارها ωt . للترتيب المبين في شكل 17.5 تكون سرعة ضلعي الملف في هذه اللحظة متعامدة مع خط القوة وتساوي :

$$u \cdot \sin \omega t$$

ينتج من العلاقة (4-8) ان الق . د . ك . المحتثة في أحد الضلعين تساوي

$$Blu . \sin \omega t$$

كما تحتث ق.د.ك مشابهة في الطرف الثاني من الملف . لذلك فان الق.د.ك. المحتثة في لفة واحدة من لفات الملف تساوي

$$e = 2Blu . \sin \omega t$$

يمكن ربط السرعة المحيطة مع السرعة الزاوية نظراً لأن

$$n = \frac{\omega}{2\pi}$$

حيث n هي عدد الدورات بالثانية .
وحيث ان قطر الملف يساوي b فان

$$u = \pi b n$$

$$= \frac{b\omega}{2}$$

وبتعويض ذلك في المقدار اعلاه عن الق.د.ك. المحتثة في لفة واحدة للملف :

$$e = 2Bl \cdot \frac{b\omega}{2} \cdot \sin \omega t$$

$$= B \cdot bl \cdot \omega \cdot \sin \omega t$$

ان حاصل الضرب bl يمثل مساحة الملف . وكذلك تمثل B كثافة التدفق للمجال . لذلك فان Bbl يجب ان تمثل التدفق الموصل للملف حينما يكون مستوي عمودياً على المجال . وهذا هو اعظم تدفق يمكن ان يوصل الملف ويرمز له Φ_m ؛ لذلك :

$$e = \omega \Phi_m \cdot \sin \omega t$$

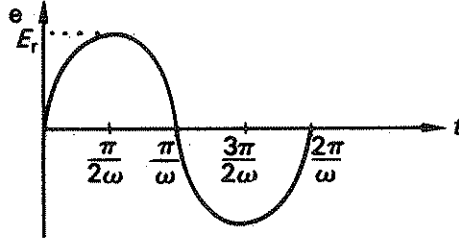
وأخيراً اذا كان الملف يحتوي على N من الملفات فان الق.د.ك. المحتثة تساوي

$$e = \omega N \Phi_m \cdot \sin \omega t \quad (5.22)$$

يمكننا ملاحظة ان المعادلة الأخيرة هذه لا تحتاج الى أي حد ذي علاقة بالترتيب الفيزيائي للملف . لذلك فانه يمكن تطبيق هذه المعادلة على أي ملف يدور في مجال مغناطيسي سواء كان مستطيلاً أم لا .
تتغير الق.د.ك. المحتثة جيئياً ، مما ينتج طريقة سهلة لتوليد الكميات الكهربائية المتناوبة . وتحتث الق.د.ك. العظمى حينما تكون $\sin \omega t = 1$ ، لذلك

$$E_m = \omega N \Phi_m \quad (5.22.1)$$

يبين الشكل 18-5 شكل موجة الق. د. ك. المحتثة . وتجدر الإشارة هنا الى ان المقدار هو بدلالة اعظم تدفق نظراً لانه ذو علاقة بكثافة التدفق العظمى ، وذلك هو العامل المحدد للمنظومات المغناطيسية .



شكل 18-5 شكل موجة الق. د. ك. المحتثة في ملف دوار

تجدر الإشارة الى ان هناك طريقة ثانية لاشتقاق العلاقة (5-22) ان التدفق الذي يوصل الملف يمكن التعبير عنه كما يلي :

$$\begin{aligned}\phi &= \Phi_m \cdot \cos \omega t \\ e &= \frac{d\phi}{dt} \\ &= N \cdot \frac{d\phi}{dt} \\ &= N \cdot \frac{d(\Phi_m \cdot \cos \omega t)}{dt} \\ &= \omega N \Phi_m \cdot \sin \omega t\end{aligned}$$

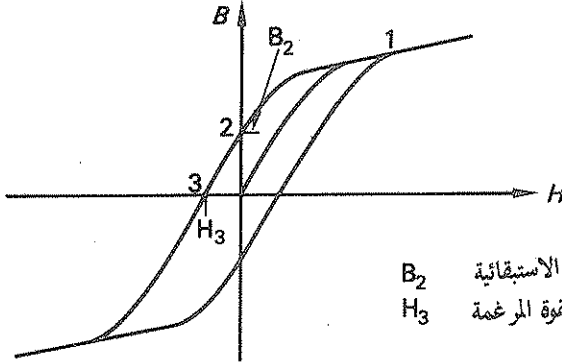
مثال (11-5) ملف دائري قطره 200 ملم وعدد لفاته 1000 لفة يدور بسرعة منتظمة مقدارها 3000 دورة في الدقيقة في مجال منتظم كثافته 0.3 تيسلا . اشتق معادلة الق. د. ك. المحتثة في الملف .

$$\begin{aligned}A &= \pi r^2 = \pi \times \left(\frac{200}{2}\right)^2 \times 10^{-6} = 3.14 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \\ \Phi_m &= BA = 0.3 \times 3.14 \times 10^{-2} = 9.42 \times 10^{-3} \text{ Wb} \\ n &= \frac{3000}{60} = 50 \text{ rev/s} \\ \omega &= 2\pi n = 2\pi 50 = 314 \text{ rad/s} \\ e &= \omega N \Phi_m \cdot \sin \omega t = 314 \times 1000 \times 9.42 \times 10^{-3} \sin 314t \\ &= \underline{2960 \cdot \sin 314t \text{ V}}\end{aligned}$$

10-5 دائرة التخلفية* (Hysteresis Loop)

في الفقرة 8-4 حصلنا على منحنى التمغظ بافتراض التطبيقات على شدة المجال المغناطيسي للمواد المغناطيسية الحديدية . ان المعالجة هذه قد طبقت على نموذج اختبار غير ممغظ ولم يكن لاتجاه شدة المجال المغناطيسي المسألة أي عواقب .

لنفرض الآن تأثير عكس اتجاه شدة المجال المغناطيسي المسألة على أساس ان نموذج الاختبار سبق وان تمغظ ما فيه الكفاية لكي يسبب البدء بالتكتل ، ولنفرض النقطة 1 في شكل 19-5 . عند نقصان شدة المجال المغناطيسي الى الصفر فان تدفقاً ما يبقى بسبب اعادة ترتيب التكتلات . وهذا الانخفاض بالتدفق ينتج لحد كبير من النقصان في حجم التكتلات ، وتسمى كثافة التدفق الناتجة بالاستبقائية (Remanence) ويرمز لها بالحراف B_2 .



شكل 19-5 منحنى التمغظ والدائرة التخلفية

اذا سلطت قوة بعكس القطبية لتلك المسألة سابقاً على النموذج ، فان التكتلات تستدير بالتعاقب الى ان ينتهي المطاف بعدم وجود أي تدفق فعال . وتدعى حينئذ شدة المجال المغناطيسي التي تسبب هذا الوضع بالقوة المرغمة (coercive force) . وعند زيادة شدة المجال المغناطيسي ينتج تدفق يعمل بعكس الاتجاه الذي سبق ملاحظته الى ان يحصل التشبع بالاتجاه المعاكس .

اذا ما عكس تسلسل هذه العمليات فان تأثيراً مغناطيسياً مشابهاً يحدث ، مما يسبب العودة الى نقطة التشبع رقم 1 . لذلك فان المميزات الناتجة تشكل دائرة تدعى بالدائرة التخلفية . مما سبق ينتج أنه عندما يسبب التيار المتناوب تغيراً في التدفق في المواد المغناطيسية الحديدية فان القيم الاثنية المقابلة لكثافة التدفق وشدة المجال المغناطيسي تكون كما مبين بالدائرة التخلفية .

ان الدائرة التخلفية المبينة في الشكل 19-5 هي واحدة من عدد كبير من الدارات ممكنة الحدوث والتي تتحكم في شكلها وحجمها ثلاثة عوامل هي :

المسألة :

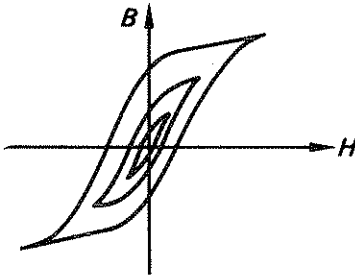
تظهر الدائرة ضيقة في المادة التي يمكن ان تتمغظ بسهولة . بينما على العكس اذا كانت المادة لا

* تسمى داره التخلفية في بعض المصادر بحلقة المسترة (المترجمان)

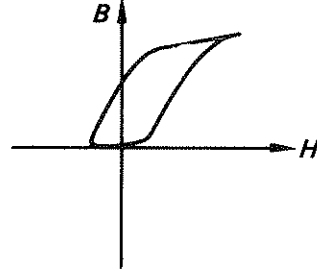
تمغنط بسهولة فان الدارة تكون عريضة . كما ان المواد المختلفة تتشبع بقيم مختلفة من كثافة التدفق مما يؤثر على ارتفاع الدارة .

القيمة العظمى لكثافة التدفق :

وهذه يمكن تبيانها بسهولة من الشكل 20-5 أ الذي يبين كيف أن مساحة الدارة تزداد بالزيادة التدريجية للقيم العظمى لشدة المجال المغناطيسي المتناوبة .



(أ) تغير ذروة كثافة التدفق



(ب) مميزات غير متناظرة

شكل 20-5 الدارات التخلفية لظروف متغيرة

الوضع المغناطيسي الابتدائي للنموذج :

يبين الشكل 20-5 ب دائرة تخلفية لنموذج تشبع ثم خفضت كثافة التدفق فيه الى الصفر وبعد ذلك وضع التشبع . واخيرا تجدر الاشارة الى انه يمكن مقارنة المواد المختلفة برسم داراتها بنفس المقياس على ان تصل كل دائرة الى وضع التشبع . ان احدى الخواص المهمة تتمثل بمساحة الدارة ، حيث تشير هذه المساحة الى مقدار الشغل المصروف خلال دورة تمغنط واحدة وهذا الشغل يسبب فقدان بالطاقة ويدعى بفقد التخلفية (* Hysteresis loss) وهذا الفقد يظهر بشكل حرارة .

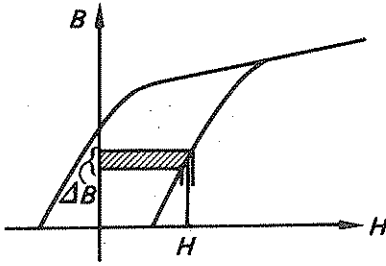
11-5 فقد التخلفية

لنفرض دائرة مغناطيسية ولتكن ملفاً حلقياً ذا قطر كبير طوله l وذا مقطع عرضي منتظم قيمته A يوصل لفات منتظمة عددها N . اذا كان التيار في لحظة معينة i فان شدة المجال المغناطيسي الناتجة والعائدة له تساوي

$$H = \frac{Ni}{l}$$

• تترجم كلمة loss احيانا بكلمة خسارة او ضياع (المترجمان)

يبين الشكل 21.5 الظروف الالينية لذلك .



شكل 21.5 الدارة التخلفية

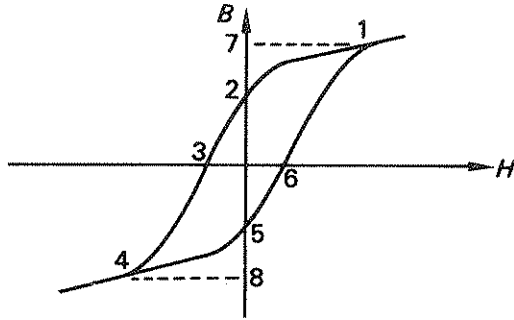
لنفرض ان التيار ازداد بمقدار ΔI في زمن مقداره Δt فان ذلك يسبب زيادة في كثافة التدفق مقدارها ΔB ومن ثم فان زيادة التدفق $\Delta \Phi$ تساوي $(A \cdot \Delta B)$ وذلك بسبب احتثا ق . د . ك . في الملفات :

$$\begin{aligned} E &= \frac{\Delta \Psi}{\Delta t} \\ &= N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \\ &= AN \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} \end{aligned}$$

ان هذه الق . د . ك . تعاكس التيار i حسب قانون لenzكي تجهز الطاقة ΔW للمنظومة . وعلى فرض ان التيار يبقى ثابتا لحد ما اي ان ΔI صغيرة فانه :

$$\begin{aligned} \Delta W &= Ei \cdot \Delta t \\ &= AN \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot i \cdot \Delta t \\ &= A \cdot N \cdot \Delta B \cdot \frac{HI}{N} \\ &= H \cdot \Delta B \times AI \\ &= H \cdot \Delta B \times V \end{aligned} \quad (5.23)$$

حيث $V = AI$ وتساوي حجم النموذج المغناطيسي . وعلى فرض ان الزيادة في شدة المجال المغناطيسي ΔH صغيرة فان $H \cdot \Delta B$ تمثل بالمساحة المضللة المبينة في الشكل . لذلك فانه لوحدة الحجم لنموذج مغناطيسي حديدي تكون الطاقة المتصمة مساوية لـ $H \cdot \Delta B$ مقاسة بالجوليات . ولقد اشتقت العلاقة (5.23) على اساس ان شدة المجال المغناطيسي وكثافة التدفق



شكل 22.5 الدارة التخلفية لتبيان فقدان الطاقة

منتظمين لكل اجزاء النموذج .

اذا رمزنا للزيادة في كثافة التدفق الناتجة من النقصان بالتيار i بالمقدار ΔB ، فان الطاقة المنتقلة الى الدائرة الكهربائية من وحدة الحجم للمادة المغناطيسية الحديدية تساوي $H \cdot \Delta B$. وعلى اي حال فانه اذا كانت شدة المجال المغناطيسي وكثافة التدفق غير منتظمين في كل اجزاء النموذج فان $H \cdot \Delta B$ تمثل التغيير في كثافة التدفق (بالجول لكل متر مكعب) الممتصة او المحررة من موقع محدد بشدة مجال مغناطيسي تساوي H وتغير في كثافة التدفق ΔB .

لتفرض نموذجاً مغناطيسياً حديدياً مجهز بمغنطة ذات منحنى دوري (cyclic) بالصورة المبينة في شكل 22.5 . فاذا كانت قيمة شدة المجال المغناطيسي الابتدائية تساوي صفر ، وكانت كثافة التدفق العائدة لتلك القيمة تساوي B_5 ، لنفرض ان شدة المجال المغناطيسي ازدادت تدريجياً بخطوات صغيرة موجبة حتى تغيرت كثافة التدفق من B_5 الى B_1 ، فان كل خطوة يجب ان تسبب تغيراً في كثافة التدفق B . يبين الشكل 16.5 خطوات نموذجية لهذه الحالة وفي خلال خطوات مثل تلك فان طاقة مقدارها $H \cdot \Delta B$ من الجولات توجه الى وحدة الحجم من النموذج . وينتج من ذلك انه بجمع تأثيرات كافة الخطوات تكون الطاقة الممتصة لوحدية الحجم للنموذج ممثلة بالمساحة 561725 حينما تتغير كثافة التدفق B_5 الى B_1 . اذا قلصت شدة المجال المغناطيسي من H_1 الى صفر مرة ثانية فانه يمكن مناقشة ذلك بطريقة مشابهة وتمثل الطاقة المحررة من وحدة الحجم للنموذج بالمساحة 1721 لذلك فان الطاقة الممتصة تزيد عن الطاقة المحررة وتكون الطاقة الصافية الممتصة ممثلة بالمساحة 56125 . واذا ما اكملت دورة كاملة للمغناط فان تسلسل الحوادث يحدث بصورة مشابهة ولكن بعكس الاتجاه . لذلك تكون الطاقة الممتصة في دورة كاملة ممثلة بالمساحة 5612345 وعليه تكون الطاقة الصافية الممتصة في دورة كاملة متمثلة بمساحة دائرة التخلفية كلها . ان مساحة الدارة مقاسة بحاصل ضرب كثافة التدفق وشدة المجال المغناطيسي يمكن الحصول عليها عادة من قياس المساحة بالامتر المربعة وضرب ذلك بعاملي مقياسي الرسم وهما تسلسلا لكل متر وأمبير لفة لكل متر . لذلك فان الطاقة الممتصة تقاس بالجولات لكل متر مكعب لكل دورة . وعلى فرض ان الظروف منتظمة لكل اجزاء النموذج فاذا ضربنا الطاقة الممتصة في حجم النموذج فانه يمكن الحصول على الطاقة الكلية الممتصة لكل دورة تمغناط W_h . لذلك

$$W_h = V \times (\text{area of loop}) \quad (5.24)$$

إذا جهاز تيار التمثغظ من مصدر تيار متناوب فإن الطاقة الممتصة لكل دورة يمكن ان تضرب بتردد المصدر. وحاصل الضرب هذا يعطي القدرة التخلفية المفقودة P_h

$$P_h = fW_h \quad (5.25)$$

ان الطاقة الممتصة المتسببة عن التخلفية تتحول الى طاقة حرارية ، لذلك فإن المادة الحديدية المغناطيسية تتعرض الى ارتفاع في درجة الحرارة .

يمكن ان نبين تجريبيا ان الفقد بالقدرة التخلفية يتناسب مع اقصى كثافة تدفق يتعرض لها النموذج نظراً لان العلاقة هي بشكل :

$$P_h \propto B_m^N$$

حيث N هو ثابت تتراوح قيمته بين 1.6-2.5 حسب المادة المستعملة . ويدعى بعامل ستاينمتس (Steinmetz Index) . وبما ان فقد القدرة التخلفية يتناسب ايضاً مع التردد والحجم فإن :

$$P_h = k_h f B_m^N V \quad (5.26)$$

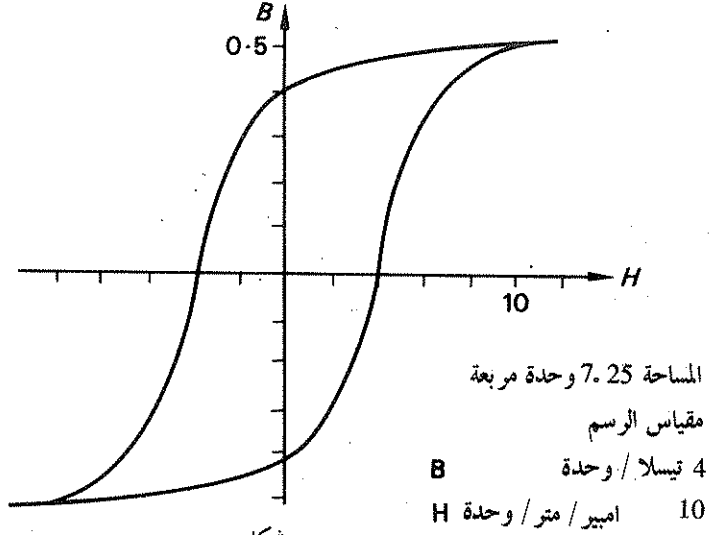
ان قيمة الثابت k_h تعتمد على المادة ، فمثلا تكون القيمة للفولاذ السيليكوني بين 100-200 . احد العوامل المهمة في اختيار المادة الحديدية المغناطيسية لتطبيق معين هو مساحة وشكل الدارة التخلفية للمادة ، حيث من الضروري ملاحظة الامور الثلاثة التالية

1 - من المفضل بصورة عامة لغرض الحصول على كثافة تدفق عالية ان تكون القوة المغناطيسية صغيرة . وذلك يقلل من حجم المادة المطلوبة لانتاج تدفق ذي قيمة معينة ، كما يقلل من التيار المطلوب لانتاج ذلك التدفق .

2 - كنتيجة من ا اعلاه ، يجب ان تكون الدارة التخلفية ضيقة لكي تكون مساحتها صغيرة ، فللمكائن المعرضة لتمغظ دوري يجب ان تكون مساحة الدارة صغيرة حتى يكون فقد القدرة التخلفية اقل ما يمكن .

3 - سنلاحظ في الفقرة 15.5 انه لمغناطيس دائم يكون الحصول على دارة كبيرة محبذاً لانتاج استباقية وقوة قسرية عاليتين بنفس الوقت .

مثال 12.5 لب دائرة مغناطيسية مصنوع من الفولاذ السيليكوني حجمه 1,000,000 ملم³ . احسب فقد القدرة التخلفية حينما يكون تردد التدفق 50 هرتز وذلك باستعمال دارة التخلفية المبينة في شكل 23.5 .



شكل 23.5

$$P_h = Vf \text{ (مساحة الدارة)}$$

$$= 1000000 \times 10^{-9} \times 50 \times \text{(مساحة الدارة)}$$

$$\text{مساحة الدارة} = \text{المساحة بالوحدات المربعة} \times \text{مقياس الرسم}$$

$$= 7.25 \times 4 \times 10$$

$$= 290 \text{ J/m}^3/\text{c}$$

$$P_h = 1000 \times 10^{-6} \times 50 \times 290 = \underline{14.5 \text{ W}}$$

مثال (13.5) نموذج من الفولاذ السيليكوني ذو عامل تخلفية يساوي 100 وعامل ستاينمتس = 1.6. احسب فقد القدرة التخلفية في 1000,000 ملم³ حيثما يكون تردد التدفق = 50 هرتز وتكون كثافة التدفق العظمى 2 تيسلا.

$$P_h = k_h f V B_m^N$$

$$= 100 \times 50 \times 1000000 \times 10^{-9} \times 2.0^{1.6}$$

$$= 5 \times 2.0^{1.6}$$

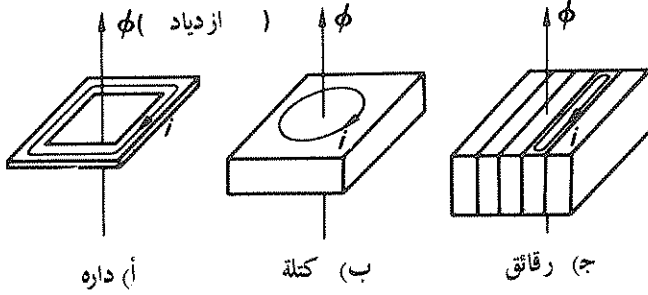
$$= 5 \times 3.03$$

$$= \underline{15.2 \text{ W}}$$

وهذا يقارن بجواب المثال 12.5.

12-5 فقد التيار الدوامسي (Eddy Current Loss)

لذا وصلت دائرة مادة موصلة بتدفق متغير فإنه تحت ق . د . ك . في الدارة ، مسببة تياراً دواراً يمر حول الدارة كما مبين في شكل 24-5 أ . ان التيار في الدارة يسمى بالتيار الدوامي وهنا يسري حول مردي لفة واحدة والذي يعني عملياً دورة قصر .



شكل 24-5 توضيحات التيار الدوامي

إذا ما استعص عن الدارة بكتلة من مادة موصلة فإن نظاماً مشابهاً للتيارات الدوامية ينتج في الكتلة . وعلى أي حال فإن التيارات الدوامية تسبب فقداً في مقاومة مرور التيار الدوامي ، وهذا الفقد يدعى بفقد طاقة التيار الدوامي .

تسري التيارات الدوامية باتجاه بحيث ان تأثيراتها المغناطيسية تعاكس تغير التدفق حسب قانون لنز . وفي الترددات العالية تؤدي التيارات الدوامية الى تغيير توزيع التدفق في الدارة او الكتلة تغييراً جذرياً . وعلى أي حال ففي الصفائح الرقيقة وفي الترددات المنخفضة مثلاً 50 هرتز ، يكون التغيير في التدفق قليلاً وبصورة عامة يمكن اهمال هذا التأثير في الترددات الواطئة .

لنفرض تدفقاً يتغير جيئياً في نموذج مساحة مقطعه العرضي A متعامداً مع اتجاه المجال .

$$\phi = \Phi_m \sin \omega t$$

$$= AB_m \sin \omega t$$

ان الق . د . ك في الدارة تتناسب مع سرعة تغيير التدفق

$$e \propto \frac{d(AB_m \sin \omega t)}{dt}$$

$$\propto \omega AB_m \cos \omega t$$

وتعطي قيمة ج . م . ت . لهذه الق . د . ك . بالمعادلة :

$$E \propto \omega AB_m$$

$$I \propto \frac{\omega AB_m}{R}$$

$$\propto \frac{f AB_m}{R}$$

حيث R هي المقاومة الفعالة للتيارات الدوامية ، لذلك فان فقد قدرة التيار الدوامي P_e يعطي بالمعادلة

$$P_e = I^2 R$$

$$\propto \frac{A^2 B_m^2 f^2}{R}$$

$$\propto \frac{A^2 B_m^2 f^2}{P}$$

$$R = P \frac{l}{A} \quad \text{نظراً لأن}$$

$$P_e = \frac{k_e A^2 B_m^2 f^2}{P}$$

(5.27)

لذلك فان فقد قدرة التيار الدوامي يتناسب مع مربع مساحة المقطع العمودية على اتجاه المجال ومع مربع كثافة التدفق العظمى ومع مربع التردد وعكسياً مع مقاومة المادة التي صنعت منها الدارة . ولغرض تقليل هذا الفقد فان الكميات التي بالامكان تغييرها هي مساحة المقطع والمقاومية فقط . ان مساحة لب الدائرة المغناطيسية الصافية لا يمكن تقليلها نظراً لان ذلك يعتمد على التدفق المطلوب وعلى اقصى قيمة مسموحة لكثافة التدفق . اما المساحة فيمكن تقسيمها الى اجزاء اصغر ويمكن الحصول على ذلك بتقسيم اللب الى عدد من الصفائح القليلة السمك المسماة بالرقائق (Laminations) ، كما مبين في شكل 24-5 ج والتي تعزل قليلاً عن بعضها بالاكسيد مثلاً ، ان هذا يقلل من مساحة كل جزء ، وبذلك يقلل الق . د . ل . ك . المحتثة ، مما ينتج زيادة في مقاومة ممرات التيار الدوامي نظراً لان المساحة التي تمر خلالها التيارات تصبح اصغر . ان كلا التأثيرين يجتمعان لكي يقللا من التيار ومن ثم الفقد في القدرة ، لذلك فان سمك الرقائق هو عامل مهم في ايجاد الفقد في قدرة التيار الدوامي . كما يمكن الحصول على تقليل اكثر من ذلك باستعمال مادة ذات مقاومة عالية . ان الغرض من استعمال الرقائق هو لتجزئة التيارات الدوامية . وبصورة عامة يمكن تقليل سمك المكونات المغناطيسية الحديدية بأحد الطرق التالية :

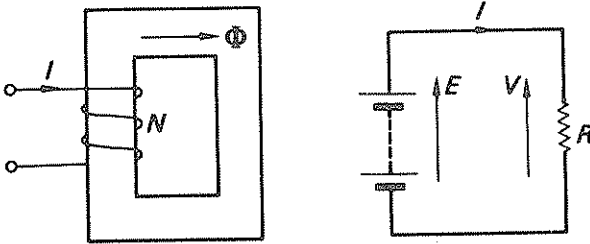
- 1 . باستخدام الرقائق التي نوقشت اعلاه .
- 2 . بعمل الدائرة المغناطيسية من اسلاك (وهذا غير شائع)
- 3 . باستخدام لب من برادة الحديد المغناطيسي .
- 4 . بعمل اللب من مادة (Ferrite) مناسبة ، لذلك يجب اخذ الاحتياطات التالية لغرض

- خفض فقد اللب في النظام الكهرومغناطيسي :
- أ- يجب ان تقلل كثافة التدفق لاقبل ما يمكن اقتصادياً .
 - ب- يجب ان يصنع اللب من مادة ذات دارة تخلفية صغيرة نسبياً .
 - ج- يجب ان تكون مادة اللب ذات مقاومة عالية .
 - د- يجب أن تصنع الدائرة المغناطيسية من رقائق او تجزأ .

واخيراً يجب ملاحظة ان التيارات الدوامية لها تطبيقات متعددة وأن لا نعتبر قصوراً في الانظمة الكهرومغناطيسية على الدوام . فاجهزة قياس الطاقة ومكابح التيار الدوامي Eddy Current Brakes تعتمد في اساس تشغيلها على التيارات الدوامية ، كما سنأتي على ذكر اجهزة القياس ذات الملف المتحرك في الفقرة 4-17

13-5 الدوائر المغناطيسية (Magnetic Circuits)

في الفقرة السابقة كانت الدوائر المغناطيسية التي ركزنا عليها نوعاً ما كالملف الحلقي مثلاً ، والذي كان ليه المغناطيسي منتظماً باجمعه الا ان كثيراً من الدوائر المغناطيسية العملية تكون أكثر تعقيداً . ونجد من الضروري عند تحليلها لغرض الوصول الى امثل استخدام لمادة اللب ان نستعمل أكبر كثافة تدفق ممكنة . وقبل كل شيء من المفيد ان نقارن دائرة بسيطة مع دائرة كهربائية مكافئة كما موضح في شكل 25.5 .



شكل 25.5 مقارنة بين دائرة مغناطيسية ودائرة كهربائية

سبق وان عرفنا القوة الدافعة المغناطيسية على أنها الشغل المنجز لتحريك وحدة القطب المغناطيسي مرة واحدة حول دائرة مغناطيسية ، لذلك فان الق.د.غ. هي مناظرة للق.د.ك. في الدوائر الكهربائية ، لأن كليهما مصدر للطاقة في الدائرة
ان الق.د.ك. (E) تنسب تياراً ليمر في الدائرة كما في المعادلة :

$$E = IR$$

وتكون لاق.د.غ. (F) مسبة لتدفق يعطى بالمعادلة

$$F = \Phi S$$

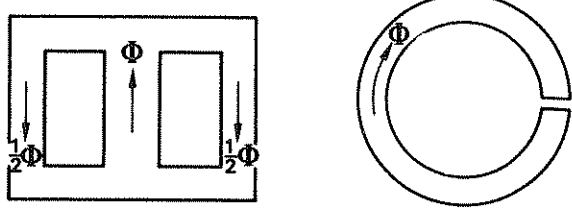
لذلك يمكننا ان نجد ان التدفق مناظر للتيار ، ولكنه من غير الصحيح ان نتصور ان التدفق هو سريان مستمر. وأخيراً

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$S = \frac{1}{\mu_0 \mu_r} \cdot \frac{l}{A} \quad \text{كذلك}$$

وهاتان المعادلتان متشابهتان ايضاً . اذا كانت الدائرة الكهربائية معقدة ، أي انها مكونة من دائرة على التوالي او التوازي او كليهما معاً ، فانه من الضروري ان نأخذ فرق الجهد داخل الدائرة . وهذا يسمح باستخدام قانوني كرشوف في تحليل الدائرة بتمامها .

هناك في الدوائر المغناطيسية ما يكفيء فرق الجهد اذا أخذنا بنظر الاعتبار جزءاً من الدائرة فقط . ان فرق الجهد المغناطيسي هذا يهيء الظروف لتطبيق قانوني كرشوف في تحليل الدوائر المغناطيسية ، لذلك فان التدفق الذي يدخل مفترقاً في دائرة مغناطيسية يساوي التدفق الذي يغادر ذلك المفترق . وان مجموع الق . د . غ . حول أي دارة مغلقة في دائرة مغناطيسية يساوي مجموع فروق الجهد المغناطيسي . وان معاوقة الأجزاء المختلفة للدائرة المغناطيسية يمكن معاملتها بنفس الطريقة التي عوملت بها المقاومات في الدوائر الكهربائية . ويبين الشكل 26.5 دائرة على التوالي واخرى على التوالي والتوازي . ان تحليل الدوائر المغناطيسية يمكن توضيحه بصورة افضل بمجموعة من الأمثلة المحلولة . وبسط تحليل هو لدائرة مغناطيسية على التوالي . بالامكان افتراض ان الانفاذية النسبية ثابتة للحصول على حل تقريبي للدائرة



(أ) دائرة على التوالي (ب) دائرة توازي - توازي

شكل 26.5. الدوائر المغناطيسية

مثال (14.5) دائرة مغناطيسية تحتوي على ثلاثة اجزاء على التوالي كل منها ذات مساحة مقطع عرضي منتظم واطولها كما يلي :

- أ- طوله 80 ملم ومساحة مقطعه 50 ملم²
 - ب- طوله 60 ملم ومساحة مقطعه 90 ملم²
 - ج- فجوة هوائية طولها 1/2 ملم ومساحة مقطعه العرضي 150 ملم²
- لفت 4000 لفة على الجزء ب وكانت كثافة التدفق في الفجوة الهوائية 0.3 تيسلا ، فاذا فرضنا ان كل التدفق يمر خلال الدائرة المذكورة وان الانفاذية النسبية μ_r تساوي 1300 . اوجد بصورة تقريبية تيار الملف الذي ينتج هذه الكثافة من التدفق .

$$\Phi = B_c A_c = 0.3 \times 1.5 \times 10^{-4} = 0.45 \times 10^{-4} \text{ T}$$

$$F_a = \Phi S_a = \Phi \cdot \frac{l_a}{\mu_0 \mu_r A_a}$$

$$= \frac{0.45 \times 10^{-4} \times 80 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 1300 \times 50 \times 10^{-6}} = 57.3 \text{ At}$$

$$F_b = \Phi S_b = \Phi \cdot \frac{l_b}{\mu_0 \mu_r A_b}$$

$$= \frac{0.45 \times 10^{-4} \times 60 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 1300 \times 90 \times 10^{-6}} = 18.4 \text{ At}$$

$$F_c = \Phi S_c = \Phi \cdot \frac{l_c}{\mu_0 \mu_r A_c}$$

$$= \frac{0.45 \times 10^{-4} \times 0.5 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 150 \times 10^{-6}} = 119.3 \text{ At}$$

$$F = F_a + F_b + F_c = 57.3 + 18.4 + 119.3 = 195.0 \text{ At}$$

$$= IN$$

$$I = \frac{195.0}{4000} = 48.8 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$= \underline{48.8 \text{ mA}}$$

سبق وان بينا عند مناقشة المميزات المغناطيسية للمواد المغناطيسية الحديدية ان فرضية كون الانفاذية النسبية ثابتة هي فرضية تقريبية ، لذلك فان تقديراً اقرب الى الواقع لتيار الملف يمكن اشتقاقه من تطبيق منحنى الـ

(B-H) وذلك موضح في المثال (15.5)

مثال (15.5) الدائرة المغناطيسية في المثال 14.5 صنعت من مادة ذات مميزات مغناطيسية كالآتي .

كثافة التدفق (تيسلا) 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2

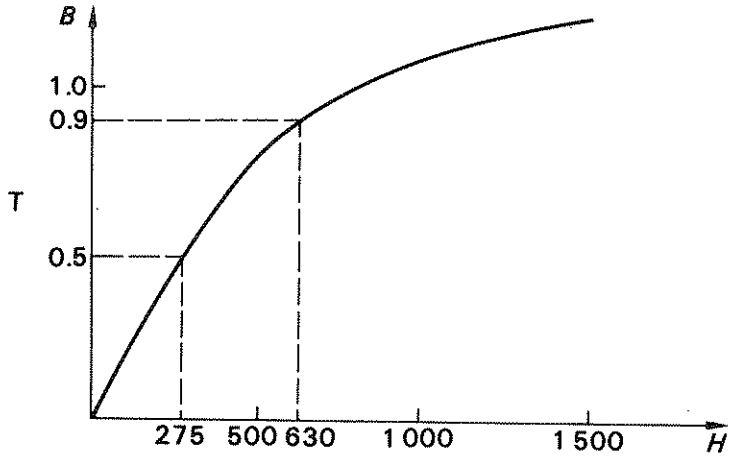
شدة المجال المغناطيسي (امبير لفة لكل متر) 100 210 340 500 800 1500

باستعمال المميزات قدر قيمة التيار المطلوب لاستحداث كثافة تدفق مقدارها 0.3 تيسلا في الفجوة الهوائية .

$$\Phi = B_c A_c = 0.3 \times 150 \times 10^{-6} = 0.45 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

مرة اخرى :

$$B_a = \frac{\Phi}{A_a} = \frac{0.45 \times 10^{-4}}{50 \times 10^{-6}} = 0.9 \text{ T}$$



شكل 27.5

من مميزات التمعنط يمكن حساب قيمة القوة المغنطة كما يلي :

$$H_a = 630 \text{ At/m}$$

$$F_a = H_a l_a = 630 \times 80 \times 10^{-3} = 50.4 \text{ At}$$

$$B_b = \frac{\Phi}{A_b} = \frac{0.45 \times 10^{-4}}{90 \times 10^{-6}} = 0.5 \text{ T} \text{ ايضاً}$$

من المميزات

$$H_b = 275 \text{ At/m}$$

$$F_b = H_b l_b = 275 \times 60 \times 10^{-3} = 16.5 \text{ At}$$

ان فرق الجهد المغناطيسي عبر الجزء ج يمكن تقديره بنفس الاسلوب الذي استخدم في المثال (14.5)
لذلك :

$$F_c = 119.3 \text{ At}$$

$$F = F_a + F_b + F_c = 50.4 + 16.5 + 119.3 = 186.2 \text{ At}$$

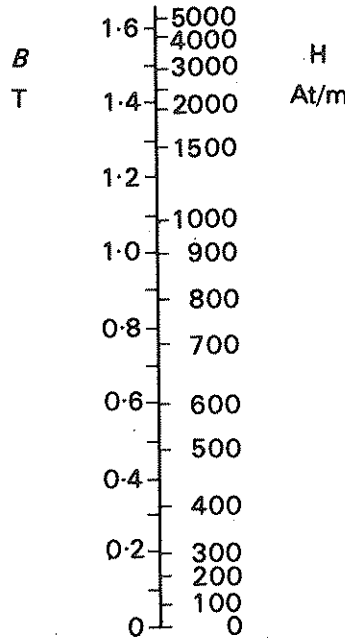
$$= IN$$

$$I = \frac{F}{N}$$

$$= \frac{186.2}{4000} = 46.6 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$= \underline{\underline{46.6 \text{ mA}}}$$

ان المعلومات المتعلقة بمنحني التمغظ ليس من الضروري تمثيلها بشكل منحني بل بالامكان تمثيلها بشكل (Nomogram) كما موضح في المثال (16.5)
 مثال (16.5) صنعت الدائرة المغناطيسية العائدة للمثال (14-5) من صفيحة فولاذية مميزات التمغظ لها معطاة في الشكل 28.5 . باستخدام هذه المميزات قَدِّر التيار المطلوب لانتاج كثافة تدفق مقدارها 0.3 تيسلا في الفجوة الهوائية .



شكل 28.5 (SANCAD)

سبق وان بينا بأن B_a تساوي 0.9 تيسلا من المخطط البياني H_a تساوي 810 امبير لفة لكل متر .

$$F_a = H_a l_a = 810 \times 80 \times 10^{-2} = 64.8 \text{ At} \quad \text{لذلك :}$$

$$B_b = 0.5 \text{ T} \quad \text{وبنفس الطريقة :}$$

$$H_b = 30.6 \text{ At/m}$$

$$F_b = H_b l_b = 510 \times 60 \times 10^{-3} = 30.6 \text{ At}$$

وكذلك

$$F_c = 119.3 \text{ At as before.}$$

$$F = F_a + F_b + F_c = 64.8 + 30.6 + 119.3$$

$$= 214.7 \text{ At}$$

$$I = \frac{F}{N} = \frac{214.7}{4000} = 53.7 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$= \underline{\underline{53.7 \text{ mA}}}$$

قبل الانتهاء من هذه الفرضيات للدوائر المغناطيسية المتوالية هناك حالة تستحق الانتباه ، الا وهي تقدير كثافة التدفق الناتجة من تيار تمغظ معين . ففي هذه الحالة يكون فرق الجهد المغناطيسي عبر الاجزاء المختلفة للدائرة المغناطيسية معلوماً ، وبسبب مميزات التمغظ فان قيم المعاوقة لا يمكن الحصول عليها مباشرة ، لذلك فانه لا يمكن حل دائرة كهذه بنفس الطريقة المستخدمة في حل الدوائر الكهربائية ولكنه بالامكان حل المسألة تقريبياً باستخدام المنحني كما موضح في المثال (17-5) .

مثال (17-5) : الدائرة المغناطيسية الموضحة في المثال (16-5) مصنوعة من صفيحة فولاذية لها نفس المميزات السابقة . مر في الملف تياراً مقداره 50 ملي امبير . قَدِّر قيمة كثافة التدفق في الفجوة الهوائية .

$$F = NI = 4000 \times 50 \times 10^{-3} = 200 \text{ At}$$

نظراً لأنهم غير المعروف كيف تكونت الاق. د.غ. من فروق الجهد حول الدائرة ، فانه من الضروري عمل فرضية اولية للـ ق. د. غ. اللازمة للفجوة الهوائية مقدرة بالأمبير - لفة .

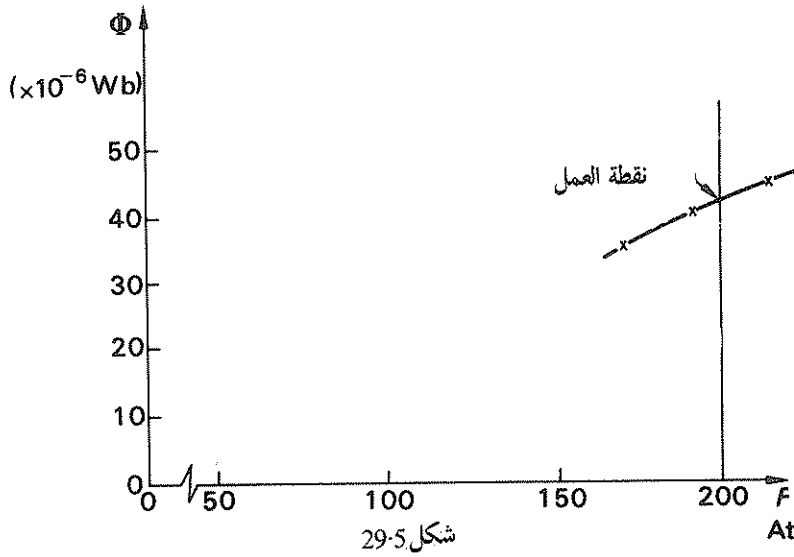
$$\Phi = \frac{F_c}{S_c} = \frac{F_c \mu_0 \mu_r A_c}{l_c} = \frac{100 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 150 \times 10^{-6}}{0.5 \times 10^{-3}} = 0.378 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

وهذه القيمة هي قيمة تقديرية لذلك يمكن تقريبها الى 0.4×10^{-4} وبيرو . ولاكمال الحل المطلوب بياناً فان مختلف فروق الجهد يمكن حسابها لقيم التدفق 0.35×10^{-4} وبيرو و 0.4×10^{-4} وبيرو و 0.45×10^{-4} وبيرو وذلك كما مبين ادناه

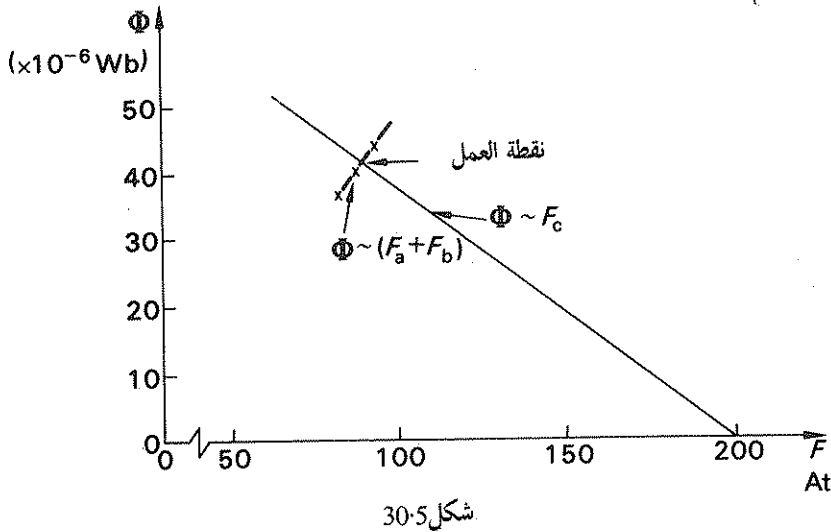
Φ (Wb)	0.35×10^{-4}	0.40×10^{-4}	0.45×10^{-4}
B_a (T)	0.7	0.8	0.9
H_a (At/m)	660	720	810
F_a (At)	52.9	57.6	64.8
B_b (T)	0.39	0.45	0.50
H_b (At/m)	430	480	510
F_b (At)	25.8	28.8	30.6
F_c (At)	92.8	106.0	119.3
F (At)	171.5	192.4	214.7

يمكن الآن رسم منحنى للتدفق مع الاق. د.غ. كما في شكل 29-5 . ومن المنحني يمكن ايجاد التدفق العائد للاق. د.غ. 200 أمبير لفة ويساوي 0.43×10^{-4} وبيرو . وبذلك يكون التدفق الكلي في الدائرة .

$$B_c = \frac{\Phi}{A} = \frac{0.43 \times 10^{-4}}{1.5 \times 10^{-4}} = 0.277 \text{ T}$$



ان هذا الحل اعتمد على التقدير الاولي لقيمة التدفق . ولولم تكن تلك القيمة من القرب الى القيمة الصحيحة لحد ما ، لما كان بالإمكان الحصول على الحل المطلوب من المنحني . وفي تلك الحالة يجب اخذ نقاط اخرى لاكمال الرسم .

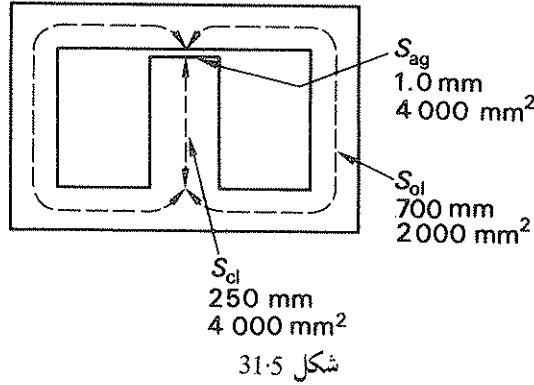


حينما تضم المسألة فجوة هوائية فإن الحل يكون اسهل من ذلك ، حيث يجب ان يحسب مجموع فروق الجهد المغناطيسية بنفس الطريقة اعلاه . الا أن القيم المتعددة لفروق الجهد المغناطيسية عبر الفجوة الهوائية ليس من الضروري حسابها حيث تكفي قيمة واحدة فقط . وقد رسم ذلك بطريقة عكسية كما مبين اعلاه ،

حيث ان قيمة التدفق المستعملة والناجمة من فرق جهد مقداره 119.3 تساوي 0.45×10^{-4} وبير .
 ان مميزات الفجوة الهوائية هي خطوط مستقيمة يمكن رسمها بسهولة . كما ان نقطة العمل (Operating Point) يمكن الحصول عليها من تقاطع مميزات الفجوة الهوائية مع مميزات بقية الدائرة . وبذا يمكن الحصول على نفس الحل .

واخيراً هناك حالة الدوائر المغناطيسية ذات الفروع المتوازية والتي اذا علمت الانفاذية النسبية لها يمكن حساب معاوقات الأجزاء المختلفة . ثم بعد ذلك يمكن معاملتها بنفس الطريقة التي تعامل بها المقاومات في الدوائر الكهربائية . واذا علمت الخواص المغناطيسية بدلاً من ذلك فإنه يمكن موازنة الق. د.غ مع فروق الجهد المغناطيسية للأجزاء والطريقة الاولى موضحة في المثال (18.5) .

مثال (18.5) : ملف مكون من 800 لفة ملفوف على الذراع (Limb) الوسطية لاطار من الفولاذ المصبوب وفق الشكل 31.5 . اوجد تيار الملف الذي يسبب تدفقاً مقداره 1 ملي وبير في الفجوة الهوائية اذا كانت الانفاذية للفولاذ المصبوب تساوي 1000 .



$$S_{c1} = \frac{l_{c1}}{\mu_0 \mu_r A_{c1}} = \frac{250 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 1000 \times 4000 \times 10^{-6}} \quad \text{للذراع الوسطية}$$

$$= 4.97 \times 10^4 / H$$

$$S_{o1} = \frac{l_{o1}}{\mu_0 \mu_r A_{o1}} = \frac{700 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 1000 \times 2000 \times 10^{-6}} \quad \text{وللذراع الخارجية}$$

$$= 27.85 \times 10^4 / H$$

وحيث ان الذراعين الخارجين متشابهان ومربوطان على التوازي ، فان معاوقتهما الفعالة تساوي 1/2 معاوقة احدهما كما هي الحال في ربط المقاومات على التوازي . لذلك فان المعاوقة الفعالة تساوي

$$S_p = \frac{1}{2} S_{o1} = 13.92 \times 10^4 / H$$

و لفجوة الهوائية

$$S_{ag} = \frac{l_{ag}}{\mu_0 \mu_r A_{ag}} = \frac{1 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 4000 \times 10^{-6}}$$

$$= 19.9 \times 10^4 / H$$

لذلك تساوي المعاوقة الكلية

$$S = S_{cl} + S_p + S_{ag} = (4.97 + 13.92 + 19.9) \times 10^4$$

$$= 38.79 \times 10^4 / H$$

$$F = \Phi S = 1 \times 10^{-3} \times 38.79 \times 10^4 = 387.9 \text{ At}$$

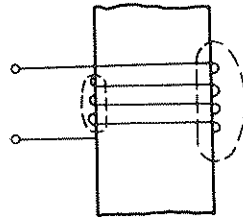
$$I = \frac{F}{N} = \frac{387.9}{800}$$

$$= 0.485 \text{ A}$$

14.5 عوامل الدائرة المغناطيسية (Magnetic Circuit Factors)

من الناحية العملية يكون التدفق الكلي المتكون من التيار في ملف التمهبط الملفوف حول لب دائرة مغناطيسية اكبر من التدفق المقيد في اللب ، نظراً لأن الفرق يعود بالدرجة الاولى الى الخسارة في التدفق والمسمى بالتسرب (Leakage) ويوضح الشكل 34.5 نماذج من ممرات التسرب ان نسبة التدفق الكلي الى التدفق المقيد تسمى معامل التسرب (Leakage coefficient)

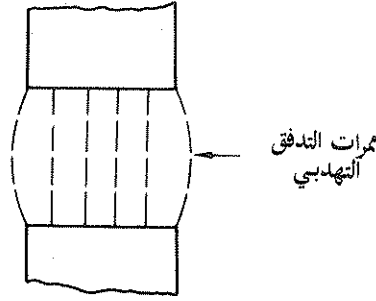
$$(5.27) \quad \sigma = \frac{\text{التدفق الكلي}}{\text{التدفق المقيد}} = \text{معامل التسرب}$$



شكل 32.5 ممرات تسرب التدفق

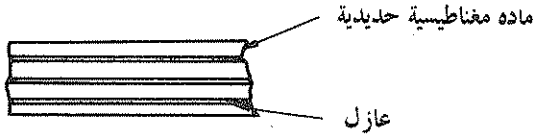
واذا احتوت الدائرة المغناطيسية على فجوة هوائية ، فان التدفق يحاول التهرب (fringing) عند النهايات كما مبين في الشكل 33.5

علماً بأن تأثير التهرب يزداد فعالية كلما كانت مساحة المقطع العرضي للفجوة اكبر ، وبذلك تقل معاوقته الفعالة . وهذا التأثير يمكن اهماله بصورة اعتيادية في الحالات التي تكون فيها الفجوة الهوائية صغيرة .



شكل 33-5 التدفق التهديبي

اما حينما يتغير التدفق في لب مغناطيسي حديدي ، فان ذلك يؤدي الى ظهور فقد قدرة في التيار الدوامي . ويمكن تقليل ذلك في كثير من الدوائر المغناطيسية بعمل اللب من رقائق كما موضح مقطعها العرضي في شكل 34-5



شكل 34-5 تأثير الرقائق

ان مساحة المقطع العرضي للحديد تكون في هذه الحالة اقل من المساحة الظاهرية نظراً لأن جزءاً من المساحة مستغل بواسطة العوازل . وان نسبة مساحة الحديد الى المساحة الظاهرية تسمى بعامل الفضاء (Space Factor) او عامل التكدس (Stacking Factor)

$$\beta = \frac{\text{المساحة المفيدة}}{\text{المساحة الكلية}} = \text{عامل الفضاء}$$

5-28

مثال (19-5)

حلقة من الحديد المطاوع المصنوعة من رقائق متوسط محيطها 600 ملم ومساحة مقطعها العرضي يساوي 500 ملم² ، فيها فجوة هوائية باتجاه القطر تساوي 1 ملم مقطوعة منها . ملفوف عليها ملف عدد لفاته 1000 لفة . قدر التيار المار في الملف واللازم لانتاج $\frac{1}{2}$ وير في الفجوة الهوائية على فرض ان :

- أ- الانفاذية النسبية للحديد المطاوع = 1000
ب- معامل التسرب = 1.2

- ج- اهمل التهدب
د- عامل الفضاء 0.9

$$\begin{aligned}
 F &= \Phi S_{ag} + \Phi S_i \\
 &= \frac{\Phi I_{ag}}{u_0 u_r A_{ag}} + \frac{\Phi I_o}{u_0 u_r A_i B} \\
 &= \frac{5 \times 10^{-4} \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 500 \times 10^{-6}} + \frac{5 \times 10^{-4} \times 600 \times 10^{-3} \times 1.2}{4\pi \times 10^{-7} \times 10^3 \times 500 \times 10^{-6} \times 0.9} \\
 &= 1433 \text{ At} \\
 I &= \frac{F}{N} = \frac{1433}{1000} \\
 &= 1.44 \text{ A}
 \end{aligned}$$

تقريباً

لاحظ بان الجواب هو تقريبي فقط ولذلك تم تقريبه رقمياً .

مسائل على تطبيقات النظرية الكهرومغناطيسية

- ملف ذو 350 لفة يحمل تياراً مقداره 0.6 أمبير وهو ملفوف حول دائرة مغناطيسية طولها 0.5 متر . احسب قوة التمهظ في الدائرة المغناطيسية
(420 At/m)
- تيار مقداره 4 أمبير يولد تدفقاً مقداره 4.8 ميكروويبر في ملف ذي لب هوائي عدد لفاته 1600 لفة . ما قيمة محاثته الملف .
(1.92 mH)
- ملف ذو لب هوائي محاثته تساوي 4.5 ملي هنري طول محوره 314 ملم ومساحة مقطعه العرضي 500 ملم² . ما عدد لفات الملف ؟
(1500)
- تيار مقداره 2.5 أمبير يسري بملف ذي لب هوائي عدد لفاته 1000 لفة ومحاثته 0.6 هنري . ما مقدار التدفق المغناطيسي الناتج .
(1.5 mWb)
- دائرة مغناطيسية حديدية ذات مساحة مقطع عرضي منتظم مقداره 500 ملم² وبقطر متوسط

مقداره 200 مللم . اذا كانت الانفاذية النسبية للمادة المغناطيسية الحديدية تساوي 2000
وكتافة التدفق تساوي 1.5 تيسلا . احسب منافذة الدائرة المغناطيسية وال ق . د . غ . هـ .

(2μH; 375 At)

6. ملف حلقي متوسط قطره 200 مللم . ملفوف عليه موصل يمر 10 مرات خلال المركز .
اذا كانت مساحة المقطع العرضي للحلقة 100 مللم² والانفاذية النسبية تساوي 850 ،
ما مقدار التدفق في الحلقة عند مرور 1.5 أمبير خلال الموصل ؟

(2.55 μ Wb).

7. ملف ذي سلك معزول عدد لفاته 400 لفة ومقاومته 0.25 أوم ، ملفوف باحكام
حول حلقة فولاذية ومربوط الى مصدر للتيار المباشر مقداره 4 فولت . فاذا كانت مساحة المقطع
العرضي للحلقة تساوي 600 مللم² ومتوسط قطرها 150 مللم والانفاذية النسبية للفولاذ
تساوي 450 . احسب التدفق الكلي في الحلقة .

(4.6 m Wb)

8. حلقة فولاذية ذات مقطع عرضي دائري ، مساحته 150 مللم² . وكان متوسط قطر الحلقة
85 مللم . لف عليها سلك ذو 250 لفة ، فاذا كانت الانفاذية النسبية للفولاذ تساوي 500
والتدفق الكلي فيه يساوي 0.35 وبير ، ما مقدار التيار المطلوب في الملف ليتيح ذلك التدفق ؟

(3.9 A)

9. ملف ذو 2000 لفة ، ملفوف بانتظام حول حلقة من الايونات متوسط قطرها 320 مللم
ومساحة مقطعها العرضي 400 مللم² . احسب محاطة الملف الحلقي المتكون .

(2 mH)

10. ملف ذو قلب هوائي طوله 1 متر وقطره 60 مللم وعدد لفاته 5000 لفة احسب محاطة الملف .
وضع ملف عدد لفاته 500 لفة وقطره 40 مللم في مركز الملف السابق وعلى نفس المحور فاذا عكس
التيار الذي مقداره 3 أمبير المار في الملف الأول بسرعة منتظمة في مدة 10 ملي ثانية ، ما مقدار
ال ق . د . ك . هـ . في الملف الثاني .

(0.213 V 88.4 mH)

11. ملف ذو 100 لفة ملفوف على حلقة من مادة الـ (perspex) متوسط قطرها 200
مللم ومساحة مقطعها العرضي 800 مللم² . احسب .

- أ- قوة التمغنط في متوسط محيط الحلقة حينما يكون تيار الملف 2 أمبير .
- ب- التيار المطلوب لتوليد تدفق مقداره 1 ميكروبير .
- ج- المحاطة الذاتية للملف .

(318 At/m, 6.24 A, 64 μH)

12. ملف عدد لفاته 300 لفة ملفوف بانتظام على حلقة حديدية متوسط محيطها 400 ملم ومساحة مقطوعها العرضي 500 ملم² فإذا كانت مقاومة الملف 8 أوم وقدر يربط على مصدر للتيار المستمر ذي 20 فولت احسب :

أ- ق . د غ للملف	750 At,
ب- قوة التخميط	1875 At/m,
ج- التدفق الكلي	1.06 mWb,
د- معاوقة الحلقة	70700/H,
هـ- منافذة الحلقة	1.41 μ H

13. لب ملف حلقي غير مغناطيسي ، طول محيطه 450 ملم ومساحة مقطوعه العرضي 500 ملم² لف عليه ملف ذو 900 لفة ويحمل تياراً مقداره 3 أمبير . احسب

أ- الق . د . غ .	2700 At,
ب- قوة التخميط	6000 At/m,
ج- المعاوقة	716 MA/Wb,
د- التدفق	3.77 μ Wb,
هـ- كثافة التدفق	7.54 mT

14. ملف ذو لب مغناطيسي حديدي مصنوع من جزئين . الجزء الاول ذو محاطة مقدارها 0.9 هنري والثاني ذو محاطة مقدارها 0.1 هنري وكان معامل الاقتران 0.5 . احسب
أ- المحاطة التبادلية

ب- المحاطة الكلية عند ربط الجزئين على التوالي تعاضديا مرة وتعاكسيا مرة أخرى

$$0.15 H, 1.3 H, 0.7 H$$

15. محاطة تبادلية صنعت من ملف ابتدائي ذي 723 لفة منتظمة على تشكيلة اسطوانية بطول 840 ملم ومن وضع ملف ثاني ذي 1000 لفة ملفوف على قطر مقدارها 31.8 ملم على نفس محور الملف الرئيسي . على فرض أن المجال داخل الملف الرئيسي منتظم وان معاوقة الممر للتدفق الراجع مهملة ، احسب المحاطة التبادلية بين الملفين . *

$$(861 \mu H)$$

16: ملف ذو مقاومة مقدارها 5 أوم ومحاطة مقدارها 0.3 هنري يمر فيه تيار يتغير كما يلي :

أ- يزداد بانتظام من 8 أمبير الى 12 أمبير في 0.2 ثانية

ب- يبقى ثابتاً على 12 أمبير لمدة 0.5 ثانية

ج- ينقص بانتظام الى الصفر في 0.8 ثانية

ارسم منحنيًا يمثل التيار والـق . د . ك . المحتثة والفولتية المسالطة .

° افرض ان قطري الملفين متساويان وكذلك طولا الملفين (المترجمان)

17. ملف مقاومته 20 أوم ومحاثته 0.1 هنري ، ربط الى مصدر للتيار يزداد بانتظام من الصفر الى 2 أمبير في 10 ملي ثانية ويبقى ثابتاً على 2 أمبير لفترة 20 ملي ثانية ثم يهبط بانتظام الى الصفر في فترة 5 ملي ثانية .

ارسم منحنيات لمقايس رسم مناسبة مبيناً لتغير ما يلي مع الزمن :

أ - الهبوط بالفولت عبر المقاومة

ب- الق . د . لك المحتثة

ج- فرق الجهد عبر الدائرة

18. مصدر للتيار المستمر ذو فولتيه ثابتة ربط الى دائرة خلال زريحتوي على مقاوم ومحث على التوالي فاذا كان مقدار المقاومة 100 أوم والمحاثة 10 هنري والفولتيه المسلطة 100 فولت ، احسب ما يلي :

أ - السرعة الابتدائية لازدياد التيار .

ب - القيمة النهائية للتيار

$$10 \text{ A/s}, 1.0 \text{ A}$$

19. مقاومة ومحاثة في دائرة على التوالي قيمتهما 2 أوم و 20 هنري على التعاقب ، ازداد التيار في لحظة غلق المصدر بمعدل 4 أمبير بالثانية . احسب

أ - الفولتيه المسلطة

ب- معدل ازدياد التيار عندما يرتفع التيار الى 5 أمبير

ج- الطاقة المخزونة في كلا الحالتين .

$$(80 \text{ V}, 3.5 \text{ A/s}, 0.25 \text{ J})$$

20. بطارية ذات ق . د . ك مقدارها (E) ، تجهز تياراً مستقراً لدائرة على التوالي ذات مقاومة

R ومحاثة L . اوصلت دائرة قصر فجأة عبر جزء من المقاومة الكلية مقدارها R_1 . اشتق

العلاقة الجبرية للتيار في الدائرة لهذه المسألة ، اذا كانت E تساوي 100 فولت و $R = 20$ أوم و $R_1 = 10$ أوم

$$20 \text{ أوم و } R_1 = 10 \text{ أوم}$$

$L = 2$ هنري ، ارسم منحنى التيار مع الزمن ، ثم احسب التيار بعد : -

أ - 0.1 ثانية

ب - 0.5 ثانية بعد غلق دائرة القصر .

$$6.97 \text{ A}, 9.59 \text{ A}$$

21. ماكثة تحتوي على 8 لفائف مجال مربوطة على التوالي . كل واحدة منها تحتوي 1200 لفه

عندما يكون التيار 3 أمبير وجد أن التدفق المتوصل لكل ملف يساوي 20 ملي ويبر احسب :

أ - محاثة الدائرة

ب- الطاقة المخزونة فيها

ج- قيمة المعدل للق . د . لك المحتثة اذا قطعت الدائرة في 0.5 ثانية

$$64 \text{ H}, \\ 288 \text{ J}, \\ 1920 \text{ V}$$

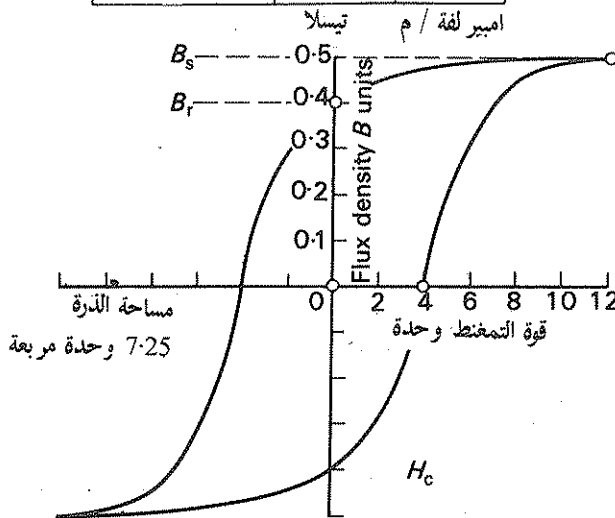
22. تيار مقداره 15 أمبير يسري في ملف محاثته 60 ملي هنري . اذا فتحت الدائرة في 15 ملي ثانية احسب معدل القدرة المفقودة .

(450 W)

23. دائرة مغناطيسية تحتوي على ملف حلقي متوسط قطره 150 ملم ومساحة مقطعه العرضي 500 ملم² وقد صنع من الفولاذ السيليكوني وسلطت عليه ق. د. غ. متناوبة تولد تأثيراً تخلفياً كالمبين في المخطط البياني 1.5 احسب القدرة في الفولاذ الناتج من التخلفية*

(3.4 W)

المادة	مقياس الرسم لكل وحدة	
	B (T)	H (At/m)
الفولاذ السيليكوني	4	10
مادة الممثل	1	1



مخطط بياني 1.5 الدارات التخلفية

24. لب مغناطيسي مصنوع من مادة الـ (mumetal) وكانت دارتها التخلفية كما موضح في المخطط البياني 1.5 فاذا كان طول اللب 50 ملم ومعدل مساحة مقطعه العرضي 1 سم² وقصد التخلفية فيه 1 واط ، احسب تردد التدفق المتناوب .

(27.6 kHz)

° افرض ان التردد يساوي 50 هيرتز (الترجمان)

25. برهن على أنه لنموذج حديدي يكون الفقد التخلفي بالواط لكل جرام لكل دورة يساوي مساحة دائرة الـ B/H مقسومة على مقدار ثابت . وكانت الدارة التخلفية لنموذج بز 12 كيلوغرام قوة (kgf) تكافئ 30 واط لكل ملم³ . احسب الفقد بالطاقة لكل ساعة على تردد 50 هرتز اذا علمت ان الوزن النوعي للحديد 7.5 .

$$(0.024 \text{ kWh})$$

26. قيس الفقد الحديدي الكلي في رقائق محول Transformer stamping سمكها 14 ملم عند فحصه على تردد 50 هرتز وبحث اعظم مقداره 1 تيسلا ، وجد أنه يساوي 1.4 واط لكل كيلوغرام قوة ثم حسب الفقد التخلفي على تردد 50 هرتز لدارة الـ B/H بين نفس حدود الحث فوجدت تساوي 1 واط لكل كيلوغرام قوة .

قدر فقد اللب المتوقع بالواط لكل كيلوغرام عند استخدام نفس المادة وبسمك 20 ملم على حث اعظم مقداره 1.3 تيسلا وبتردد 60 هرتز . افرض ان $1.6 = N$

$$3.82 \text{ W/kgf}$$

27. ما مقدار الق . د . غ . المطلوبة لتوليد كثافة تدفق مقدارها 1.28 تيسلا في حلقة فولاذية مغلقة متوسط قطرها 700 ملم . اذا كانت الانفاذية النسبية للفولاذ في كثافة التدفق هذه تساوي 540 .

ما مقدار الق . د . غ . المطلوبة لكي تبقى كثافة التدفق 1.28 تيسلا عند احداث فجوة هوائية باتجاه القطر مقدارها 1.59 ملم في الحلقة .

$$1 \text{ 150 At, 1622 At}$$

28. حلقة حديدية قطرها 300 ملم ومساحة مقطعها العرضي 400 ملم² لثلاث محورها القطري و 800 ملم² للثلاث الثاني و 1200 ملم² للباقي . فاذا كانت الانفاذية النسبية للحديد تساوي 3000 . احسب الق . د . غ . المطلوبة لتوليد تدفق مقداره 1 ملي ويبر .

$$382 \text{ At}$$

29. مغناطيس كهربائي يحوي دائرة مغناطيسية يمكن اعتبارها تحتوي على 3 اجزاء على التوالي ، كل جزء منها ذو مقطع عرضي منتظم وكان طول الجزء أ 80 ملم ومساحة مقطعه العرضي 50 ملم² . وطول الجزء ب 60 ملم ومساحة مقطعه العرضي 90 ملم² . وكان الجزء ج فجوة هوائية طوله 0.5 ملم ومساحة مقطعها العرضي 150 ملم² . فاذا كان الجزءان أ ، ب مصنوعين من مادة ذات مميزات مغناطيسية كالآتي :

$$H = 620 \text{ At/m} ; B = 0.9 \text{ T} ; H = 275 \text{ At/m} ; B = 0.5 \text{ T}$$

احسب التيار اللازم في ملف عدد لفاته 400 لفة ملفوف على الجزء ب لكي يولد كثافة تدفق في الفجوة الهوائية مقدارها 0.3 تيسلا .

$$46.4 \text{ mA}$$

30 دائرة مغناطيسية على التوالي ذات ممر فولاذي طوله 500 ملم وطول فجوته الهوائية 1 ملم .
 فاذا كانت مساحة المقطع العرضي للفولاذ 600 ملم وعدد لفات ملف الاثارة (Exciting Coil)
 400 لفة ، احسب التيار المطلوب لتوليد تدفق مقداره 0.9 ملي ويبر في الدائرة ، اذا
 كانت النقاط التالية مأخوذة من منحنى التمهبط للفولاذ .

1.55	1.45	1.35	1.2	كثافة التدفق (تيسلا) :
4500	2000	1000	500	قوة التمهبط (امبير لفة لكل متر) :

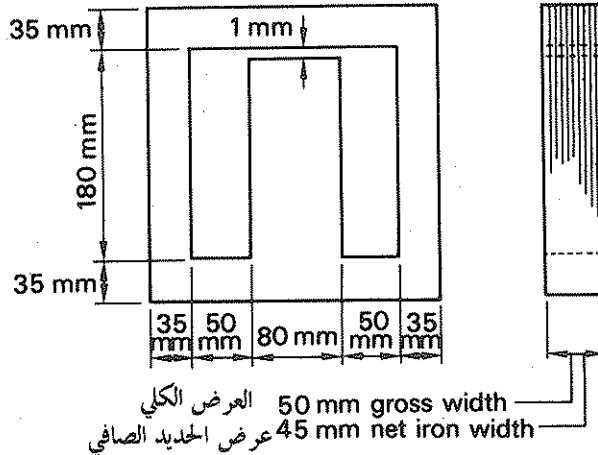
6:35 A

31 لب محمول مصنوع من الفولاذ اذرعه الخارجية ذات طول مقداره 500 ملم ومساحة مقطعه
 العرضي مقداره 2000 ملم² والذراع الداخلية ذات طول 200 ملم ومساحة مقطع 3000
 ملم² . وطول الفجوة الهوائية 1 ملم . استعمل المخطط البياني 2.5 لحساب كثافة التدفق في
 الذراع الوسطية عند مرور 1.33 امبير في الملف الملفوف على الذراع الوسطية والذي تبلغ عدد
 لفاته 1000 لفة .

1-33 T

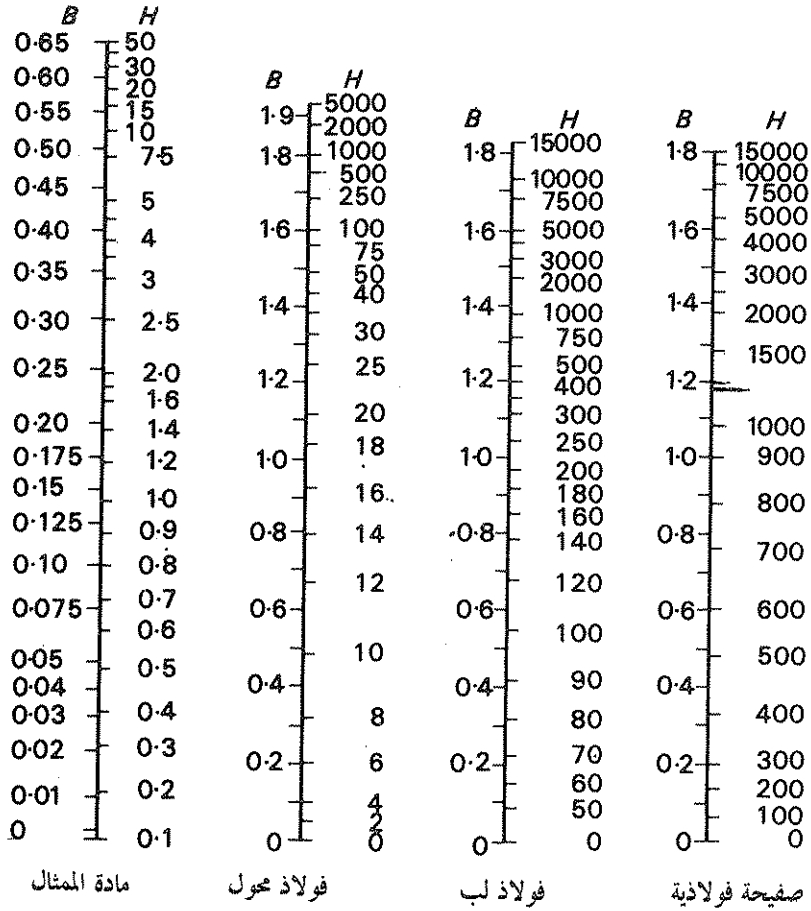
32 يمثل الشكل 35.5 محث مصنوع من رقائق فولاذية لحول مميزات البيانية B/H مبينة في
 المنحنى البياني 2.5 . تحمل الذراع الوسطية ملف اثارة ذا 1000 لفة . اذا اهملنا التسرب
 والتهديب ، قدر التيار المطلوب لتوليد تدفق مقداره 6 ملي ويبر في الفجوة الهوائية .

2.5 A



العرض الكلي 50 mm gross width
 عرض الحديد الصافي 45 mm net iron width

شكل 35.5



مخطط بياني 2.5

المميزات المغناطيسية للحصول على B بالتيسلا / لكل مترو H بالامبير لفة

33 يحتوي لب دائرة مغناطيسية على 3 أجزاء .

الجزء أ مساحة مقطعه العرضي 500 ملم² وطوله 125 ملم

الجزء ب مساحة مقطعه العرضي 250 ملم² وطوله 100 ملم

الجزء ج مساحة مقطعه العرضي 500 ملم² وطوله 0.5 ملم

إذا كان الجزءان أ ، ب مصنوعين من Mumetal المبينة ميزاته في المخطط البياني 2.5

وكان الجزء ج عبارة عن فجوة هوائية وعدد اللفات الملفوفة حول الجزء ب 1000 لفة

احسب تيار الملف اللازم لتوليد كثافة تدفق في الجزء أ مقدارها 0.5 تيسلا .

34. لب مصنوع من رقائق الحديد المطلوع نحول يحتوي على ممر دائرة مغناطيسية ب على التوالي مع الممرين المتوازيين أ ، ج إضافة الى فجوة هوائية . وقد كانت الأبعاد كما يلي :

متوسط طول الممرين أ ، ج 500 ملم

متوسط طول الممر ب 200 ملم

طول الفجوة الهوائية 2 ملم .

مساحة المقطع العرضي للممرين 1000 ملم²

مساحة المقطع العرضي للممر ب والفجوة الهوائية 2000 ملم² ومعامل الفضاء 0.9

لف ملف عدد لفاته 1000 لفة على الذراع الوسطية (الممر ب) . وعلى فرض ان الانفاذية

النسبية للحديد تساوي 1000 وكثافة التدفق للفجوة الهوائية هي 1 تيسلا وباهمال التسرب

والتهديد ، احسب .

أ- تيار الملف

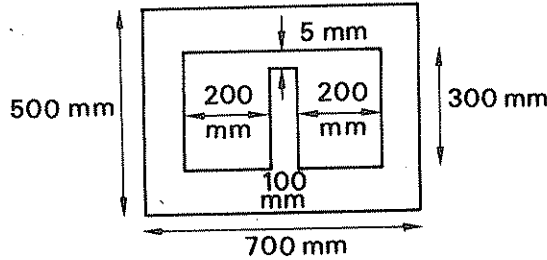
(2.21 A)

(2.21 J)

ب- الطاقة المخزونة في المجال المغناطيسي

35. لب محول مبين في شكل 36.5 سيمكه 100 ملم ومصنوع من مادة فولاذ الحول والمبينة مميزاته في المخطط البياني 2.5 . لف 2000 لفة على الذراع الوسطية . احسب التيار في الملف اللازم لتوليد كثافة تدفق مقدارها 1.4 تيسلا في الذراع الوسطية

(0.292 A)



شكل 36.5

36. دائرة مغناطيسية تحتوي على ملف حلقي فيه فجوة هوائية باتجاه القطر ومصنوع من صفيحة

فولاذية وكان الطول الكلي للملف الحلقي 800 ملم ومساحة مقطعه العرضي 100 ملم ×

50 ملم وكان طول الفجوة الهوائية 1 ملم وبنفس مساحة المقطع الفعال للفولاذ . لف على

الملف الحلقي 2000 لفة . استعمل مميزات التماغنط لصفيحة الفولاذ المبينة في المخطط

البياني 2.5 لتقدير تيار الملف اللازم لتوليد تدفق مقداره 6 ملي ويبر في الدائرة المغناطيسية

ما مقدار التدفق المتولد من تيار مقداره 0.75 أمبير في المسف .

0.98 A; 5.0 mWb

37. رقيقة مصنوعة من فولاذ سمكه 0.5 ملم وابعاده 300 ملم × 240 ملم . قص منه شبك من الوسط بابعاد 200 ملم × 200 ملم . ثم جمعت 200 رقيقة من هذه الرقائق . او لف عليها 60 لفة على كل من الذراعين الطويلين وربطها على التوالي ، فاذا كانت مميزات الفولاذ هي كما يلي

قوة التمدد (امبير لفة لكل متر) :

30 50 70 90 120 160 200 280 400 500 600 700

كثافة التدفق (تيسلا) :

0.10 0.20 0.33 0.45 0.63 0.83 0.98 1.20 1.37 1.45 1.51 1.55

حسب :

أ - تيار الملف اللازم لتوليد تدفقين مقدارهما 1 ملي وبيرو 3 ملي وبيرو

ب - التدفق عندما يكون التيار 2 أمبير

ج - التدفق الذي يسببه هذا التيار اذا كانت الرقائق مصنوعة من 4 قطع مستقيمة مربوطة بشكل

في كل زاوية وبفجوة هوائية كلية فعالة طولها 0.4 ملم اي (Butt-Joint)*

0.1 ملم لكل نقطة ربط .

0.8 A, 4.83 A, 2.21 mWb, 0.93 mWb

الفصل السادس

علم الكهرستاتيكا والشحنة

علم الكهرستاتيكا هو دراسة المجالات الكهربائية الناتجة عن وجود شحنات كهربائية في منظومات الموصلات والعوازل . ان دراسة هذا الموضوع تؤدي الى فهم تأثير السعة الملاحظ في كافة الدوائر نظراً لأهمية السعة وبالأخص في دوائر الالكترونيات والاتصالات .

1-6 خواص المجال الكهربائي

عند سريان تيار بمعدل امبير واحد فان مقدار الشحنة التي تمر خلال مقطع عرضي لموصل في فترة مقدارها ثانية واحدة يساوي كولوم واحد ، فالكولوم هو وحدة الشحنة الكهربائية . واذا أمكن امرار تيار في جسم خلال فترة زمنية محدودة ، فان الجسم يكتسب شحنة . وحيث ان التيارات التقليدية هي سريان للشحنة الموجبة فان الجسم يكتسب شحنة موجبة ، وعلى العكس اذا غادر تيار جسماً يفقد جزءاً من شحنته الموجبة أي انه يكتسب شحنة سالبة حيث ان الجسم قبل هذه الاجراءات الخارجية يكون متعادلاً أي ان مجموع شحنته الموجبة مساوياً لشحنته السالبة بسبب التوازن في المكونات الذرية . وبعد اختلاف هذا التوازن يحاول الجسم استحصال حالته الاولى . ان محاولة التوازن تتم ببحث الشحنات الموجبة والسالبة عن بعضها حيث يتجاذب هذان النوعان من الشحنات مع بعضهما . وبنفس الطريقة يمكن ملاحظة ان الشحنات المتشابهة تتنافر .

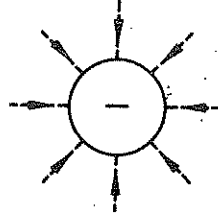
ان قوى التجاذب والتنافر هذه يمكن ان تكون قوية جداً . ويمكن تمحيص الحيز المحيط بشحنة ما باستخدام جسم صغير مشحون وهذا التمحيص يشبه ذلك الذي طبق على المجال المغناطيسي المحيط بموصل يحمل تياراً . الا ان الجسم المشحون في هذه الحالة أما ان يتجاذب او ان يتنافر مع الشحنة تحت الدراسة . ويدعى الحيز الذي يلاحظ فيه هذا التأثير بالمجال الكهربائي للشحنة . وتدعى القوة المساطلة على الجسم المشحون بالقوة الكهربائية .

وكما هي الحال في المغناطيسية ، فان خطوط القوة يمكن معرفة أثرها وهذه الخطوط كذلك تحوي الخواص التالية :

- 1- في مجال كهربائي ينبعث كل خط قوة أو ينتهي بشحنة ، وفي العادة يتجه من الشحنة الموجبة الى الشحنة السالبة .
- 2- ان اتجاه الخط هو ذلك الاتجاه الملاحظ من شحنة موجبة توضع في المجال الكهربائي كما يفترض في شحنة البحث هذه ان لا يكون لها تأثير على توزيع المجال .
- 3- لا تتقاطع خطوط القوة نظراً لان محصلة القوة في اي نقطة في المجال الكهربائي لا يمكن ان يكون لها سوى اتجاه واحد فقط .

نما يجب الانتباه اليه انه في الوقت الذي نجد بالأماكن ملاحظة القوة الكهربائية المؤثرة على جسم صغير مشحون من ناحية المبدأ ، فإنه من الصعب جداً اجراء ذلك تجريبياً لايجاد توزيع المجال ، لذلك فان

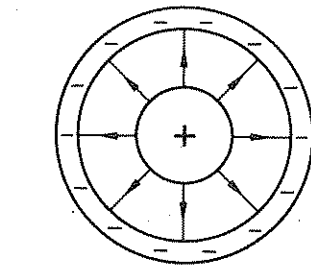
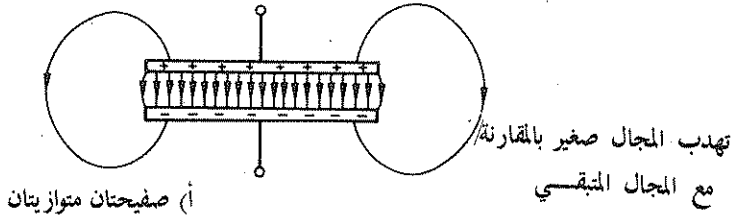
بطرقاً غير مباشرة تستعمل عادة . ويمكن الذهاب ابعد من ذلك بافتراض القوى التي تؤثر على شحنة موجبة خيالية تتحرك في المجال .



شكل 1-6 المجال الكهربائي حول شحنة المجال الكهربائي حول شحنة كروية معزولة كروية معزولة .

ان قوة التجاذب او التنافر تعمل مباشرة بين شحنتين متجاورتين ، لذلك فان خطوط القوة تتبع دائماً من السطوح المتساوية الجهد (Equipotential Surfaces) بزوايا قائمة . وأن السطح ذا الجهد المتساوي يحمل نفس الجهد في كافة نقاطه ، فالوصل الذي يكون متساوي الجهد تكون كافة خطوط القوة عمودية على سطحه .

يبين الشكل 1-6 ايسط هذه الحالات ، وهي حالة الشحنة الكروية المعزولة .
توجد معظم المجالات الكهربائية بين موصلين يحتويان على شحنتين متساويتين ومتعاكستين . وهناك ترتيبان مهمان للموصلات هما الصفائح المتوازيتين والاسطوانتين المتمركزتين ، حيث تظهر الاولى بصورة عملية في كثير من المشعات بينما تظهر الثانية في المقطع العرضي لقابلو محوري (Coaxial Cable) ويبين الشكل 2-6 المجالات العائدة لهاتين الحالتين .



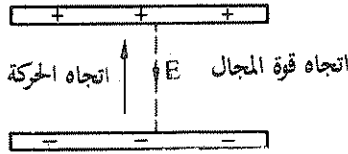
شكل 2-6 المجال الكهربائي بين سطحين

في الترتيبات المبينة في الشكل 2-6 ، من الضروري ابقاء الشحنات متباعدة ، لذلك يجب عزلها عن بعضها بالرغم من أنها موجودة في مواد موصلة أن المجال المتداخل بين الشحنات يملأ بأي مادة عازلة ويدعى هنا بالعازل الكهربائي (Dielectric)
ومن العوازل الكهربائية الشائعة الهواء ، والورق ، والنايلون الخ .

2-6 شدة المجال الكهربائي والجهد

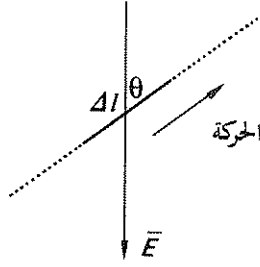
يمكن دراسة المجال الكهربائي بملاحظة تأثيراته على شحنة ما .
لنفرض شحنة مقدارها وحدة الشحنات (الكولوم) ، فمقدار القوة المسلطة على نقطة في المجال من قبل وحدة الشحنة هذه تدعى بشدة المجال الكهربائي في تلك النقطة ويمكن قياسها بالنيوتن لكل وحدة شحنة ويرمز لها بالرمز (E) . كما تدعى أيضاً بالاجهد الكهربائي او شدة المجال الكهربائي .

كما يجب ملاحظته ان الكولوم هو شحنة كبيرة جداً تترك المجال تحت الدراسة . لذلك فان استخدام مثل الشحنة الكبيرة هو فرضية محضه ، الا انه يبقى على المفهوم العام للوحدات في طرق قياسات نظام SI من تعريف الفولت سبق ان بناه في الفقرة 8-1 ان شغلاً مقداره جول واحد يلزم لرفع جهد شحنة مقدارها كولوم واحد خلال فولت واحد . وعند حركة شحنة خلال مجال كهربائي ، فان الشغل المصروف ضد او بواسطة قوى المجال الكهربائي تظهر بشكل تغير في جهد الشحنة . ويحدث ذلك عند اهمال أي مقاومة ميكانيكية للحركة . اذا تحركت وحدة الشحنة من نقطة في المجال الكهربائي الى نقطة اخرى ينتج عن ذلك تغييراً في جهدها بمقدار V فولت . ويكون الشغل المصروف V من الجولات ويبقى هذا صحيحاً مهما كان الطريق الذي تسلكه الشحنة .



شكل 3-6 الشغل المصروف بتحريك شحنة داخل المجال بين صفيحتين متوازيتين مشحونتين

ان ايسر ترتيب للمجال يمكن دراسته هو المجال الموجود بين صفيحتين متوازيتين مشحونتين كما مبين في الشكل 3-6 ، حيث يكون المجال في مركز النظام منتظماً في الاساس .



شكل 4-6 حركة شحنة في مجال كهربائي

لنفرض ان فرق الجهد بين الصفيحتين يساوي V فولت فان الشغل اللازم لنقل وحدة الشحنات من احدى الصفيحتين الى الصفيحة الثانية يساوي V من الجولات . يبين الشكل 4-6 جزءاً من عملية التحويل حيث تحركت وحدة الشحنة مسافة Δl باتجاه يصنع زاوية θ مع اتجاه المجال . وحيث ان المجال منتظم فان الشغل المصروف يساوي

$$-E \cdot \Delta l \cdot \cos \theta$$

وقد استخدمت الاشارة السالبة نظراً لان حركة الشحنة بعكس اتجاه شدة المجال الكهربائي ، أو بكلمة اخرى يمكننا القول ان شدة المجال الكهربائي ذات اتجاه سالب بالنسبة للحركة . في مثال الصفيحتين المتوازيتين نفترض حركة الشحنة الاعتيادية موازية لخطوط القوة . وهذا التأثير يمكن افتراضه في أي مجال كهربائي ما لم يذكر خلاف ذلك . ونتيجة لذلك فان $\theta = 0$ و $\cos \theta = 1$. وعليه يكون الشغل المصروف $-\Delta l \cdot E$

لنفرض ان ΔV هي الزيادة في الجهد الناتجة من حركة الشحنة مسافة Δl

$$\Delta V = -\Delta l \cdot E$$

$$E = -\frac{\Delta V}{\Delta l}$$

فعندما تقترب Δl من الصفر يمكن كتابة المقدار بالشكل المتبع في التفاضل والتكامل أي

$$\frac{\Delta V}{\Delta l} \rightarrow \frac{dV}{dl}$$

$$E = -\frac{dV}{dl}$$

(6.1)

حيث يمكن ان نلاحظ ان شدة المجال الكهربائي مقاسة باتجاه المجال تساوي معدل الجهد مقاساً بعكس الاتجاه بأي نقطة في المجال . وبالرغم من أن شدة المجال الكهربائي يمكن قياسها بالنيوتن لوحدة الشحنة فانه باستخدام العلاقة (6-1) يكون بالامكان قياسها بالفولت لكل متر .

شدة المجال الكهربائي

الرمز: E الوحدة: فولت لكل متر (V/m)

لاحظ ان شدة المجال الكهربائي بأي نقطة في المجال هي كمية متجهة نظراً لاحتوائها على مقدار واتجاه . كما أنها تكون باتجاه أكبر معدل تغيير في الفولتية . أما الفولتية والجهد في نقطة ما فهما كميتان غير متجهتين .

3-6 التدفق الكهربائي وكثافة التدفق

ان التأثير الكهربائي الكلي لمنظومة والذي يوصف بخطوط القوة الكهربائية يسمى بالتدفق الكهربائي الذي يوصل المنظومة ووحدة هذا التدفق هي الكولوم .
التدفق الكهربائي

الرمز: Q الوحدة: كولوم (C)

لما يجب ملاحظته ان تدفقاً مقداره Q من الكولومات ينتج من شحنة مقدارها Q من الكولومات . وان كثافة التدفق الكهربائي هي المقياس للتدفق الكهربائي المار عمودياً خلال وحدة المساحة .
كثافة التدفق الكهربائي

الرمز: D الوحدة: كولوم لكل متر مربع (C/m²)

في مجال منتظم اذا مر تدفق عمودي مقداره Q خلال مساحة مقدارها A فان

$$D = \frac{Q}{A} \quad (6.2)$$

وهنا ايضاً فان كثافة التدفق الكهربائي هي كمية متجهة ذات مقدار واتجاه ويكون اتجاهها بنفس اتجاه خطوط القوة .

4.6 السماحية Permittivity

يمكننا ان نعتبر ان كثافة التدفق تنتج من شدة المجال الكهربائي ، لذلك فانه لأي قيمة من قيم شدة التدفق الكهربائي (E) تعتمد كثافة التدفق الناتجة (D) على الوسط الذي ينتج فيه التدفق .

ان نسبة D/E تدعى بالسماحية المطلقة (Absolute permittivity) للوسط .

السماحية المطلقة

الرمز: ε* الوحدة: فرااد لكل متر (F/m)

ينتج من ذلك ان :

$$\frac{D}{E} = \epsilon$$

$$D = \epsilon E$$

(6.3)

تلفظ ايسلون

وهذه العلاقة يمكن مقارنتها بمكافئها المغناطيسي $B = \mu H$ وهنا أيضاً يمكن اعطاء قيمة سماحية اولية بأخذ القيمة العائدة للفراغ المطلق . اذا وجدت كثافة التدفق الناتجة من شدة المجال الكهربائي في وسط غير الفراغ المطلق يلاحظ ان قيمة السماحية تتغير . لذلك تؤخذ السماحية المطلقة كمضاعف لسماحية الفراغ المطلق ϵ_0

سماحية الفراغ المطلق ϵ_0 الرمز (ϵ_0) ** الوحدة فرااد لكل متر (F/m)

وسناقش وحدات القياس في الفقرة 6.6

$$\begin{aligned}\epsilon_0 &= \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \text{ F/m} \\ &= 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}\end{aligned}$$

يمكن باستخدام نظريات متقدمة لامجال لذكرها في هذا الكتاب ، تبين ان هناك علاقة بين السماحية المطلقة والانفاذية المطلقة وسرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ المطلق وهذه العلاقة هي

$$\frac{1}{\mu_0 \epsilon_0} = c_0^2 \quad (6.4)$$

حيث c_0 هي سرعة الانتشار وهذه السرعة هي ثابت مطلق ، بينما بينا سابقاً ان قيمة الانفاذية النسبية ذات علاقة بالوحدة الأساسية للكهربائية مما ينتج عنه ان الانفاذية النسبية يمكن ايجادها من العلاقة (4-6) وبأخذ $c_0 = 3 \times 10^8$ متر بالثانية تكون ϵ_0 مساوية للقيمة المبينة اعلاه . وهذه القيمة هي عالية نسبياً الا انها كافية لمعظم الاستخدامات الاعتيادية .

ان نسبة السماحية الى السماحية المطلقة تدعى بالسماحية النسبية ϵ_r

السماحية النسبية الرمز ϵ_r الوحدة (بلا)

$$\begin{aligned}\epsilon_r &= \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \\ \therefore \epsilon &= \epsilon_0 \epsilon_r\end{aligned}$$

ينتج من ذلك ان الحالة العامة للعلاقة (6.3) هي :

$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E \quad (6.5)$$

يمكن اعتبار ϵ_r للهواء وحدة واحدة اما للمواد الاخرى فتتراوح قيمها بين 1 و 10 عدا مركبات الـ (Titanate) والتي تزيد حدودها لاعطاء قيم تساوي بضعة مئات .

•• تلفظ ايسلون نوت (المترجمان)

مثال (1-6) صفيحتان متوازيتان مشحونتان بفرق جهد مقداره 100 فولت . مساحة كل منهما 0.05 متر مربع والمسافة بينهما 1 ملم مملوءة بالهواء . اذا فرضنا ان كل التدفق موجود بين الصفيحتين ، احسب : الشحنة الكهربائية على كل صفيحة .

$$E = \frac{\Delta V}{\Delta l} \quad (\text{لم تؤخذ الإشارة بنظر الاعتبار لان الإشارة غير مطلوبة})$$

$$= \frac{100}{1 \times 10^{-3}}$$

$$= 100 \times 10^3 \text{ V/m}$$

$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E$$

$$= 1 \times 8.854 \times 10^{-12} \times 100 \times 10^3$$

$$= 8.854 \times 10^{-7} \text{ C/m}^2$$

$$Q = DA$$

$$= 8.854 \times 10^{-7} \times 0.05$$

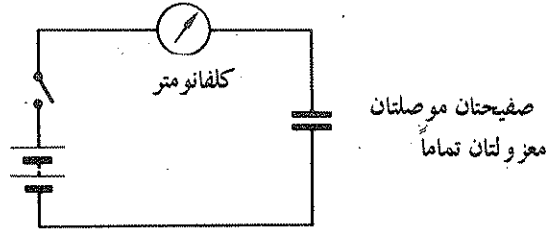
$$= 4.427 \times 10^{-8} \text{ C}$$

يجب ملاحظة ان Q تحمل كل من التدفق الكهربائي والشحنة على كل صفيحة .

5.6 السعة Capacitance

لقد استهل هذا الفصل بدراسة شحن الجسم الناتج من سريان تيار الى الجسم أو مغادراً له .

وفي التحليل الذي تلى ذلك كان هناك ترتيب محدد كزوج من الصفائح المتوازية مثلاً للاحتفاظ بالشحنة . وتسمى مثل هذه الادوات المستخدمة لهذا الغرض بالمتسعات (Capacitors) . لنفرض ثانية عملية الشحن حيث تمثل الدائرة المبينة في شكل 5-6 احدى الدوائر المستعملة . فعند غلق الزر يؤثر الكلفانومتر فجأة مشيراً الى مرور تيار لفترة من الزمن ثم يتوقف السريان . ان هذا الاندفاع من التيار هو عبارة عن سريان شحنة من اولى صفيحتي المتسعة . ومن مخطط الدائرة يمكن ملاحظة ان الصفيحة العلوية للمتسعة فيها الآن نقص بالالكترونات بسبب انجذابها نحو الصفيحة الموجبة للبطارية . وان انتقال هذه الالكترونات يكفي تياراً تقليدياً يمر في الصفيحة العلوية للمتسعة . وحيث ان الصفيحتين معزولتان عن بعضهما بالعازل الكهربائي لذلك فان الدائرة غير كاملة . ان سريان التيار يمكن فقط ان يتجمع على قمة الصفيحة معطياً ايها شحنة موجبة وان تأثيراً مساوياً ومعاكساً يحدث على الصفيحة السفلى معطياً ايها شحنة سالبة .



شكل 5-6 شحن متسعة

ان عملية انتقال الشحنات لا يمكن ان تستمر بشكل لانهايتي ، نظراً لأن الشحنات المتجمعة على الصفيحتين تتنافر مع المزيد من حركة الشحنات داخل الدائرة . فعلى سبيل المثال تصل الموجة الاولى من الشحنة صفيحة المتسعة بدون صعوبة ، بينما تصل الموجة الثانية مجابهة تنافراً تكونه القوة الكهروستاتيكية للشحنة الاولى . وتزداد هذه الصعوبة مع وصول كل شحنة لاحقة حتى يصبح من غير الممكن لأي كمية أخرى من الشحنات الوصول .

ان هذا التأثير يمكن وصفه بشكل أفضل من ذلك بدلالة فرق الجهد الذي يظهر بين الصفيحتين والنتائج من الشحنات على الصفيحتين . حيث يعتمد مقدار فرق الجهد على كمية الشحنة المتجمعة والتي تساوي الشغل المبذول لتحريك وحدة الشحنة من صفيحة الى أخرى .

ان سبب انتقال الشحنة هو ا.ق. د.ك. للبطارية وهذه ا.ق. د.ك. تعمل ضد فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة وتستمر الشحنات بالحركة حول الدائرة طالما تزيد ا.ق. د.ك. على فرق جهد المتسعة وعند انخفاض هذا الفرق ينخفض معدل انتقال الشحنة حتى يتوقف نهائياً وبذلك تكون المتسعة قد شحنت بدرجة ان فرق الجهد بين صفيحتيها يساوي ا.ق. د.ك. للبطارية فاذا كانت ا.ق. د.ك. للبطارية تساوي V يكون فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة مساوياً لـ V أيضاً . وعلينا ان نلاحظ ان عملية الشحن تأخذ فترة قصيرة من الزمن ما لم تكن مقاومة الدائرة عالية نسبة لحجم المتسعة

ان كمية الشحنة المنتقلة من احدى الصفيحتين الى الأخرى يمكن قياسها اذا استعريض عن الكلفانوميتر بالكلفانوميتر القذفي (Ballistic Galvanometer) . وبملاحظة الشحنة المنتقلة والنتيجة من تسليط ق. د.ك. مختلفة وعلى فرض ان المتسعة تبقى دون تغيير فانه بالامكان ان نبين ان فرق الجهد V يتناسب مع الشحنة المنتقلة Q .

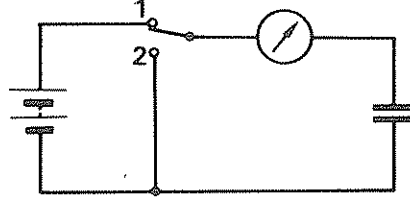
$$V \propto Q \quad \text{نفرض ان}$$

$$Q = CV$$

حيث C هي ثابت يسمى سعة المتسعة . ان سعة المتسعة هي الخاصية التي بها تتجمع الشحنات عند تسليط فرق جهد على المتسعة وتقاس السعة بالفرايد فالمتسعة التي تتجمع فيها شحنة مقدارها كولوم واحد عندما يسليط عليها فرق جهد مقداره فولت واحد تكون سعتها فرايد واحد .

السعة الرمز: C الوحدة: فراد (F)

ولسوء الحظ فإن الفراد وحدة كبيرة جداً لذلك فإن معظم المتسعات تقاس بالميكروفراد أو بالبيكوفراد .
في الشكل 6-6 عند ابقاء الق. د. ك. للبطارية تبقى المتسعة مشحونة ، ولكن عند ازالة البطارية
واستبدالها بمقاوم أو حتى بدورة قصر فإن شحنات الصفحتين تتحرك حول الدائرة لكي ترتبط وتتعاذل
مع بعضها . وهذا التأثير يمكن ملاحظته من انحراف مؤشر الكلفانوميتر في الشكل 6-6 عند تحريك
الزرمن وضع الشحن 1 الى وضع التفريغ 2 .



شكل 6-6 تفريغ متسعة

يمكن ملاحظة ان المتسعة المشحونة تسبب سريان تيار عند تفريغها ، وهذا يؤدي الى فقد حراري في
مقاومة الدائرة . لذلك فإن فرق الجهد بين الصفحتين ذو علاقة بمصدر الطاقة ومن الأفضل تسميته بـ
ق. د. ك.

يجب ان لا تصور انه اذا شحنت متسعة ثم فصل عنها مصدر الق. د. ك. فإنها تحتفظ بشحنتها
لفترة لانهاية . حيث ان الشحنة تتسرب ببطء ، نظراً لأنه لا يوجد عازل مثالي ، فدائماً هناك همر تسرب
بين الصفحتين تتسرب منه الشحنات لكي يعادل بعضها البعض . ان معظم المتسعات تحتفظ بشحنتها
لفترة زمنية معقولة ، ولهذا السبب علينا الانتباه عند استعمال متسعات كبيرة ، فانه من الضروري التأكد
من أنها مفرغة من الشحنات . وأخيراً يجب ان نلاحظ ان السعة هي ليست خاصية المتسعة فقط فتوجد سعة
بين أي جزئين من دائرة بينهما فرق جهد ، الا ان تأثير السعة هذا يكون من الصغر بمكان بحيث لا يؤخذ
بنظر الاعتبار الا في حالة المتسعات لخطوط النقل الطويلة جداً .

6-6 المتسعة ذات الصفحتين المتوازيتين البسيطة

بالرغم من وجود عدد كبير من اشكال المتسعات فان للمتسعة ذات الصفحتين المتوازيتين اهمية
خاصة وتصنع معظم المتسعات اما من مجموعة من مثل هذه الصفائح او من زوج من هذه الصفائح
ملفوفة على بعضها كملفوف رقائق الخبز لذلك فمن حسن الحظ ان المتسعة ذات الصفحتين المتوازيتين
مناسبة جداً للتحليل نظراً لانتظام مجالها .

لفرض صفحتين متوازيتين مساحة كل منهما A والمسافة بينهما d . ونظراً لأن المساحة المتضمنة كبيرة
بينما المسافة بينهما صغيرة جداً ، فانه يمكن اهمال تهذب المجال عند الحافات . كما يمكننا أن نفترض
ان المجال بين الصفحتين منتظم .

عند وضع شحنة على الصفحتين مقدارها Q كولوم فانها تسبب في تدفق كهربائي مقداره Q كولوم

فاذا كان فرق الجهد بين الصفيحتين V فولت .

$$D = \frac{Q}{A} \quad \text{وحيث ان :}$$

$$Q = DA \quad \text{فانه}$$

كما ان الشغل اللازم لانتقال وحدة الشحنة من احدى الصفيحتين الى الأخرى خلال المجال الكهربائي تساوي

$$Ed = V$$

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{الأنه من العلاقة (6-6)}$$

$$= \frac{DA}{Ed} = \frac{D}{E} \cdot \frac{A}{d}$$

$$D = \epsilon_0 \epsilon_r E \quad \text{ولكن}$$

$$\frac{D}{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \quad \text{أو}$$

حيث ϵ_r هي السماحية النسبية للعازل الكهربائي الفاصل بين صفيحتي التسعة .

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d}$$

$$\epsilon = \frac{Cd}{A}$$

وباعادة ترتيب هذه العلاقة

ومن ملاحظة هذه العلاقة يتبين ان السماحية يجب أن تقاس بالفرد لكل متر كما بينا في الفقرة 4-6 .

مثال (2-6) احسب سعة صفيحتين معدنيتين مساحة كل منهما 30 م² ومفصولتين بعازل كهربائي سمكه 2 ملم وسماحيته النسبية 6 . اذا كانت شدة المجال الكهربائي للعازل تساوي 500 فولت لكل ملم ، احسب الشحنة الكلية على كل صفيحة .

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} = \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 6 \times 30}{2 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.798 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$= 0.798 \mu\text{F}$$

$$\begin{aligned}
 V &= Ed = 500 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-3} = 1000 \text{ V} \\
 Q &= CV = 0.798 \times 10^{-6} \times 1000 \\
 &= 0.798 \times 10^{-3} \text{ C} \\
 &= \underline{0.798 \text{ mC}}
 \end{aligned}$$

7-6 تيار الشحن (Charging Current) و تخزين الطاقة (Energy Storage)

عند شحن المتسعة لنفرض ان شحنة صغيرة ΔQ تجمعت خلال فترة زمنية تساوي Δt فان معدل التيار أثناء تلك الفترة يساوي سرعة تجمع تلك الشحنة أي أنه يساوي

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

فعندما تقترب Δt من الصفر فان التيار في تلك اللحظة يمكن كتابته باستعمال رموز التفاضل والتكامل بالصيغة التالية :

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (6.8)$$

ولكن في أي لحظة يكون $q = Cv$

$$i = \frac{di}{dt}(Cv) \quad \text{لذلك}$$

من الاعتيادي ان تكون السعة C ثابتة ما لم يكن هناك حركة بين صفيحتي المتسعة . فعلى فرض انها ثابتة

$$i = C \cdot \frac{dv}{dt} \quad (6.9)$$

وبالرغم من ان العلاقة اعلاه اشتقت على اساس ان تجمعا في الشحنة قد حدث في زمن معين علينا ان نتذكر ان ذلك يمكن ان يزداد أو ينقص .

مثال (3-6) جهد مباشر مقداره 200 فولت ، سلط فجأة على دائرة تحتوي على متسعة غير مشحونة قيمتها 100 ميكروفراد مربوط على التوالي مع مقاوم قيمته 1000 أوم . احسب السرعة الابتدائية لازدياد الفولتية عبر المتسعة .
عندما تصبح المتسعة مشحونة بصورة كاملة فان مصدر الق . د . لك . يصبح دورة قصر . احسب السرعة الابتدائية للتقصان في الفولتية عبر المتسعة .

نظراً لأن المتسعة تكون مبدئياً غير مشحونة ، لذلك فإنه لا يكون هناك أي فرق جهد ابتدائي بين الصفحتين . وعند تسليط الـ ق . د . ك . فإن هبوط الجهد يجب أن يظهر عبر المقاوم 1000 اوم . لنفرض ان التيار الابتدائي يساوي i_0

$$\begin{aligned} i_0 &= \frac{V}{R} = \frac{200}{1000} = 0.2 \text{ A} \\ &= C \cdot \frac{dv}{dt} = 100 \times 10^{-6} \times \frac{dv}{dt} \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{0.2}{100 \times 10^{-6}} = 2000 \text{ V/s} \\ &= \underline{2 \text{ kV/s}} \end{aligned}$$

عند شحن المتسعة فإن فرق الجهد الكلي يسلط على المقاوم . وذلك يعطي نفس التيار السابق ولكن يكون اتجاه السريان بالعكس وينتج من ذلك ان السرعة الابتدائية لتقصان الفولتية تساوي 2 كيلو فولت بالثانية باشارة سالبة . وبالعودة الى عملية الشحن لنفرض ان متسعة ذات سعة مقدارها C شحنت بمعدل I لفترة زمنية مقدارها t ، فعلى فرض ان المتسعة كانت مبدئياً غير مشحونة فإن الشحنة في نهاية الزمن t تساوي

$$Q = It$$

وعليه فإن فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة سيزداد بانتظام أثناء تلك الفترة من الصفر حتى القيمة النهائية V ويكون معدل فرق الجهد بين الصفيحتين خلال الشحن يساوي V/2 ويساوي معدل القدرة للمتسعة أثناء الشحن V/2 . لذلك تكون الطاقة الكلية المخزونة في المتسعة

$$\begin{aligned} W_f &= \frac{1}{2} VIt \\ &= \frac{1}{2} VQ \\ &= \frac{1}{2} CV^2 \end{aligned} \quad (6.10)$$

كما يمكن برهنة ذلك بصورة اعم على النحو التالي : لنفرض ان فرق الجهد بين الصفيحتين في أي نقطة يساوي v ، وان تيار الشحن المقابل لذلك هو i . ففي فترة مقدارها dt تكون الطاقة المجهزة للمتسعة v.i.dt ولكن

$$\begin{aligned} i &= C \cdot \frac{dv}{dt} \\ i \cdot dt &= C \cdot dv \end{aligned}$$

فتكون الطاقة المجهزة v.b.v فاذا شحنت المتسعة الى فرق جهد مقداره v تكون الطاقة المخزونة تساوي :

$$W_f = \int_0^v C v \cdot dv = \frac{1}{2} CV^2 \text{ as before}$$

كما مر سابقاً

كما يجب ملاحظته ان الطاقة مخزونة في المجال الكهربائي داخل العازل . وهذه الطاقة يمكن استرجاعها الى المصدر شرط ان لا يكون هناك مقاومة في الدائرة ، الا ان أي دائرة يجب ان تحتوي على مقاومة وان مرور تيار الشحن والتفريغ خلال هذه المقاومة سيؤدي الى فقد في الطاقة على شكل حرارة . ان الطاقة الكلية المأخوذة من قبل المتسعة تساوي $\frac{1}{2} CV^2$ ، بينما تكون الطاقة الكلية المجهزة من قبل المصدر أثناء عملية الشحن تساوي :

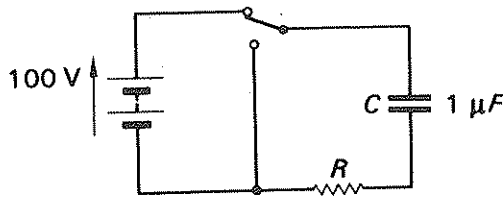
$$W_E = \int_0^{\infty} i v_R . dt + \frac{1}{2} CV^2$$

حيث أن v_R هي هبوط الفولت عبر مقاومة الدائرة في أي لحظة . ويمكن تبريرها بمقارنة الاشتقاق اعلاه مع الطاقة المخزونة كما يلي :

$$i v_R . dt = \frac{1}{2} CV^2$$

ان ذلك يعني ان الطاقة المفقودة في المقاوم تساوي الطاقة المخزونة في المتسعة كما يجب ملاحظة ان هذه العلاقة تبقى صحيحة بغض النظر عن قيمة مقاومة الدائرة . عند تحاشي اعتبار الطاقة المفقودة في مقاومة الدائرة ، نجد انه من غير الممكن استرجاع كل الطاقة المخزونة الى الدائرة حيث انه عدا الفقدان في التسرب هناك فقد آخر يسمى فقد العازل (Dielectric Loss) وهذا الفقد يناظر فقد التخلفية في المواد المغناطيسية الحديدية . وفي معظم المتسعات يكون هذا الفقد صغيراً بحيث يمكن اهماله .

مثال (4.6) في الدائرة المبينة أدناه الق . د . ك . للبطارية تساوي 100 فولت وسعة المتسعة تساوي 1 ميكروفراد . اذا كان الزر يعمل 100 مرة كل ثانية . احسب معدل التيار الذي يمر خلال الزر بين فترات عمل الزر ثم احسب متوسط القدرة المفقودة في المقاوم . افرض ان المتسعة مثالية وانها تشحن كاملاً أو تفرغ قبل تعاقب عمليات فتح وغلق الزر .



شكل يعود للمثال 4.6

ان أكبر شحنة تتجمع على المتسعة تساوي

$$Q = CV = 1 \times 10^{-6} \times 100 = 100 \times 10^{-6} \text{ C}$$

وان الزمن المستغرق لأخذ هذه الشحنة (أو لفقدانها) ، يساوي

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100} = 0.01 \text{ s}$$

$$I_{av} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{100 \times 10^{-6}}{0.01} = 0.01 \text{ A}$$

$$= \underline{10 \text{ mA}}$$

لذلك

ان الطاقة العظمى المخزونة أثناء الشحن تساوي

$$W_f = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times 100 \times 10^{-6} \times 100^2 = 0.005 \text{ J}$$

ففي أثناء فترة الشحن يجب فقدان كمية مشابهة من الطاقة في مقاوم وفي فترات التفريغ المتعاقبة للمكثف تفقد الطاقة المخزونة بالمكثف في المقاوم . لذلك فانه لكل عملية فتح أو غلق، يفقد في المقاوم طاقة مقدارها 0.005 جول وفي 100 عملية فتح أو غلق، يفقد من الطاقة

$$W = 100 \times 0.005 = 0.5 \text{ J}$$

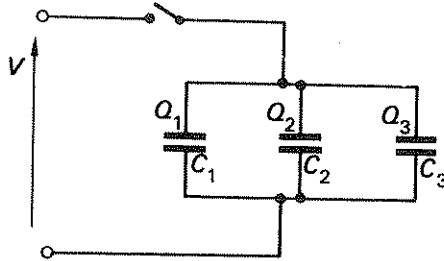
لذلك فان القدرة تساوي

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{0.5}{1}$$

$$= \underline{0.5 \text{ W}}$$

8-6 ربط المتسعات على التوازي والتوالي

لنفرض ثلاث متسعات مربوطة على التوازي كما مبين في شكل 7-6 . عندما يغلق الزر فان المتسعات الثلاثة تشحن لفرق جهد V بين الصفحتين . افرض ان الشحنات المكتسبة بواسطة المتسعات



شكل 7-6 متسعات مربوطة على التوازي

الثلاثة C_1 و C_2 و C_3 . تساوي Q_1 و Q_2 و Q_3 على التعاقب ، ينتج من ذلك ان

$$Q_1 = C_1 V$$

$$Q_2 = C_2 V$$

$$Q_3 = C_3 V$$

افرض ان الشحنة الكلية تساوي Q وان السعة الكلية الفعالة تساوي C لذلك :

$$Q = CV$$

إن الشحنة الكلية المستلمة من قبل المتسعات تساوي

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ &= C_1 V + C_2 V + C_3 V \\ &= (C_1 + C_2 + C_3)V \\ &= CV \end{aligned}$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

وبالرغم من ان التحليل اعلاه قد اشترق باستخدام ثلاثة متسعات فإنه يصلح لأي عدد كان

- مثال 5-6 شحنت متسعة قيمتها 16 ميكروفراد الى 100 فولت ، ثم فصلت عن مصدر ال
ق. د. ك. ثم ربطت عبر متسعة غير مشحونة مبدئياً قيمتها 4 ميكروفراد . احسب مايلي :
- الطاقة الاصلية المخزونة في المتسعة 16 ميكروفراد
 - الفولتية عبر الدائرة مجتمعة
 - الطاقة الكلية المخزونة

$$W_f = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 16 \times 10^{-6} \times 100^2 = \underline{0.08 \text{ J}}$$

ان الشحنة الاصلية على المتسعة 16 ميكروفراد تساوي

$$Q = C_1 V = 16 \times 10^{-6} \times 100 = 1.6 \times 10^{-3} \text{ C}$$

وهذه الشحنة توزع بين المتسعتين اللتين سعتهما الكلية تساوي

$$C = C_1 + C_2 = (16 + 4) \times 10^{-6} = 20 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{1.6 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}} = \underline{80 \text{ V}}$$

لذلك تكون الطاقة المخزونة في المتسعتين تساوي

$$W_f = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-6} \times 80^2 = \underline{0.064 \text{ J}}$$

مما يجب ملاحظته ان هناك فقداً في الطاقة يعود الى الحرارة المفقودة في مقاومة الدائرة ، حيث ان المقاومة لايمكن اهمالها . وبالعكس فان انتقال الشحنة يتطلب تياراً لا نهائياً في زمن مقداره صفر وهذا عملياً غير ممكن .

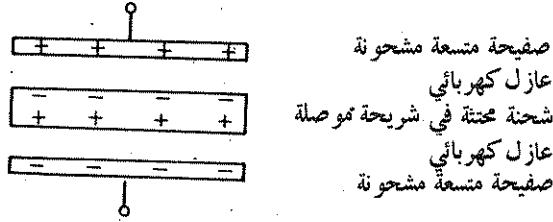
وقبل الانتقال الى دراسة تأثير ربط المتسعات على التوالي ، من الضروري اعطاء بعض الأهمية الى الشحنات المحتثة . فاذا قربنا جسماً موصلاً غير مشحون من جسم آخر مشحون فان حركة في الشحنة تحدث داخل الموصل ، حيث تنجذب الشحنات المختلفة داخل الموصل نحو الجسم المشحون وتتباعده شحنة مكافئة

لها نحو الاتجاه المعاكس . وهذا الافتراق في الشحنات داخل الموصل يؤدي الى ان تحتث شحنات كما مبين في الشكل 8-6



شكل 8-6

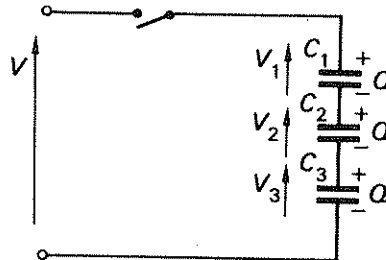
ان ابسط طريقة لتعريض موصل لتأثير جسم مشحون هي بوضع شريحة بين الصفيحتين المتوازيتين للمتسعة ، حيث من الممكن ان نفترض ان المجال الكهربائي يمر خلال شريحة الموصل وهذا يؤدي الى ان شحنات صفيحتي المتسعة تجذب الشحنات المختلفة للشريحة . وهذه الحركة داخل الشريحة تستمر حتى تتساوى الشحنات المحتنة على سطح الشريحة مع الشحنات المقابلة على صفيحتي المتسعة . وهذا ينتج قوة لكل وحدة شحنة داخل الموصل تساوي صفراً . ان الترتيب أعلاه مبين في شكل 9-6



شكل 9-6 تأثير شريحة موصلة بين صفيحتين

لمتسعة ذات صفيحتين

وعلينا ان نلاحظ ان عدد الشحنات التي تتحرك هو جزء صغير من الشحنات الكلية المتوفرة في الموصل . وعند ربط متسعتين على التوالي فان ا.ق.د.ك. المسالطة تسبب تجمع شحنة على الصفيحتين المربوطتين بالمصدر الخارجي ، أما الصفيحتان الوسطيتان فتشحان نتيجة حركة الشحنة المحتنة داخل ذلك الجزء من المنظومة لكي يستمر توازن الشحنة على كل صفيحة . وهذا يتقارن مع الحركة داخل الشريحة الموضحة أعلاه ، عدا ان سطحي الشريحة قد فصلا هنا تاركين سلكاً يربطهما معاً . كما يجب ان نلاحظ انه في الربط على التوالي تكون الشحنة على كل صفيحة متساوية رقمياً .



شكل 10-6 متسعات على التوالي

لنفرض ثلاث متسعات ربطت على التوالي كما مبين في الشكل 10-6 . عند غلق الزر تتحرك شحنة مقدارها Q حول الدائرة ومن ثم تستلم كل متسعة شحنة مقدارها Q . كما مبين .
لنفرض ان المتسعات ، C_1 و C_2 و C_3 كونت فروق جهد مقدارها V_1 و V_2 و V_3 على التعاقب لذلك :

$$Q = C_1 V_1 = C_2 V_2 = C_3 V_3$$

لنفرض ان الفولتية الكلية المسالطة تساوي V وان السعة الفعالة للمتسعات على التوالي تساوي C لذلك

$$Q = CV$$

من قانون كرشوف الثاني

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$= \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$= Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

$$= Q \cdot \frac{1}{C}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

(6.12)

بالرغم من ان هذا التحليل يعتمد على استخدام ثلاث متسعات فقط فان المعادلة تصح لأي عدد منها ، وعلى الخصوص نلاحظ ان ربط متسعتين على التوالي يؤدي الى

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

(6.13)

مثال (6-6) متسعتان مثاليتان قيمتهما 4 ميكروفراد و 1 ميكروفراد . ربطا على التوالي عبر مصدر للتيار المستمر قيمته 100 فولت . اوجد فرق الجهد عبر كل متسعة .

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$Q = CV = \frac{VC_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

ان فرق الجهد عبر المتسعة 4 ميكروفراد C_1 يساوي

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{VC_2}{C_1 + C_2} = \frac{100 \times 1 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-6} + 1 \times 10^{-6}}$$

$$= \underline{20 \text{ V}}$$

و فرق الجهد عبر المتسعة 1 ميكروفراد يساوي

$$V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{VC_1}{C_1 + C_2} = \frac{100 \times 4 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-6} + 1 \times 10^{-6}}$$

$$= \underline{80 \text{ V}}$$

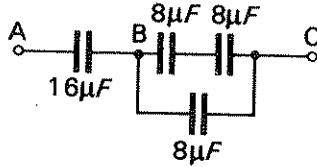
$$V_2 = V - V_1$$

$$= 100 - 20$$

$$= \underline{80 \text{ V}}$$

وبالمقابل

مثال (1-7-6) اوجد السعة المكافئة للدائرة المبينة في الشكل 11-6



شكل 11-6

$$C_{BC} = \frac{8 \times 8}{8 + 8} + 8 = 4 + 8 = 12 \mu\text{F}$$

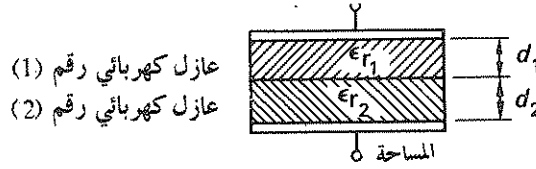
$$C_{AC} = \frac{12 \times 16}{12 + 16}$$

$$= \underline{6.86 \mu\text{F}}$$

9-6 المتسعة المتوازية الصفيحتين مع عازلين مختلفين

يمكن للمتسعة ذات الصفيحتين ان تحتوي على عازلين كما في الشكل 12-6 . وحيث ان الاجهاد الكهربائي يسلط من الصفيحة الاولى بصورة مستقيمة على الصفيحة الثانية بكل نقاطها في العازلين ، لذلك فان فرق الجهد بين الصفيحتين يكون .

$$V = E_1 d_1 + E_2 d_2$$



شكل 12-6 متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين
مع عازلين كهربائيين

لنفرض ان الشحنة على صفيحتي المتسعة تساوي Q ومن ثم تكون كثافة التدفق الكهربائي في أي نقطة داخل لعازلين تساوي

$$D = \frac{Q}{A}$$

فإذا كانت ϵ_{r1} و ϵ_{r2} هما السماحيتان النسبيتان للعازلين فان

$$\begin{aligned} V &= E_1 d_1 + E_2 d_2 \\ &= \frac{D d_1}{\epsilon_{r1} \epsilon_0} + \frac{D d_2}{\epsilon_{r2} \epsilon_0} \\ &= \frac{Q}{A \epsilon_0} \left(\frac{d_1}{\epsilon_{r1}} + \frac{d_2}{\epsilon_{r2}} \right) \end{aligned}$$

$$V = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \quad \text{لاحظ انه ينتج من ذلك}$$

حيث C_1 و C_2 هما السعتان الفعالتان للعازلين . لذلك يظهر ان العازلين يعملان انفرادياً كأنهما متسعتان على التوالي فتكون سعة المتسعة الكلية :

$$\begin{aligned} C &= \frac{Q}{V} \\ &= \frac{Q}{\frac{Q}{A \epsilon_0} \left(\frac{d_1}{\epsilon_{r1}} + \frac{d_2}{\epsilon_{r2}} \right)} \\ &= \frac{\epsilon_0 A}{\frac{d_1}{\epsilon_{r1}} + \frac{d_2}{\epsilon_{r2}}} \end{aligned} \quad (6.14)$$

سلاحظ في المثال التالي (8-6) ان الاجهاد الكهربائي يكون أكبر في المادة ذات السماحية الأقل ان أقل سماحية لمادة عازلة هي للهواء ، والتي تؤدي الى قلة استخدام الهواء كمادة عازلة . ان أي عطب صغير في العازل يؤدي الى اجهاد كهربائي عال ، حيث يؤدي الاحتراق الناتج الى انهيار عازل المتسعة تدريجياً بمضي الزمن ومن ثم يحدث انهيار تام .

مثال (8.6) .متسعة مساحتها 100 متر مربع وسمك عازليها 1 ملم و 2 ملم وكانت السماحيتان النسييتان للعازلين 2 و 5 على التعاقب . احسب سعة المتسعة والاجهادات الكهربائية في العازلين ، اذا سلط فرق جهد بين الصفيحتين مقداره 1000 فولت .

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{\frac{d_1}{\epsilon_{r1}} + \frac{d_2}{\epsilon_{r2}}}$$

$$= \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 100}{\left(\frac{1}{2} + \frac{2}{5}\right) 10^{-3}}$$

$$= 0.985 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$= 0.985 \mu\text{F}$$

$$Q = CV = 0.985 \times 10^{-6} \times 1000 = 0.985 \times 10^{-3} \text{ C}$$

$$D = \frac{Q}{A} = \frac{0.985 \times 10^{-3}}{100}$$

$$= 9.85 \times 10^{-6} \text{ C/m}^2$$

$$E_1 = \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon_{r1}} = \frac{9.85 \times 10^{-6}}{8.854 \times 10^{-12} \times 2}$$

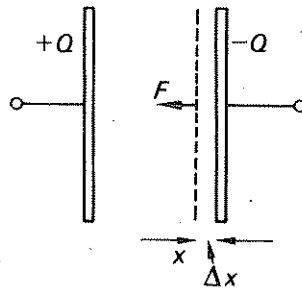
$$= 560000 \text{ V/m}$$

$$E_2 = \frac{D}{\epsilon_0 \epsilon_{r2}} = \frac{9.85 \times 10^{-6}}{8.854 \times 10^{-12} \times 5}$$

$$= 224000 \text{ V/m}$$

10.6 القوة على الصفائح المشحونة

عند شحن صفيحتين متوازيتين بشحنات متعاكسة تسلط قوة تجاذب بين الصفيحتين . ولهذا نجد ان صفيحتي المتسعة تتجاذبان نحو بعضهما . واذا امكن تحريك احدى الصفيحتين باتجاه الأخرى او بعيداً عنها مسبة زيادة في المسافة بمقدار Δx كما مبين في الشكل 13-6 ، وعلى فرض ان



شكل 13-6 القوة بين صفيحتين متوازيتين

مشحونتين

شحنات الصفيحة بقيت دون تغيير ، فان هذه المنظومة لم تدخلها او تغادرها أي طاقة كهربائية ومع هذا نجد ان الطاقة المخزونة في الصفيحة قد تغيرت وهذا التغيير يعود الى تحولها الى طاقة ميكانيكية ، حيث انه لنفس الحركة نجد ان الشغل المبذول يساوي

$$F \cdot \Delta x$$

حيث F هي قوة التجاذب بين الصفيحتين .

$$W_f = \frac{1}{2} CV^2$$

ان الطاقة الاولية المخزونة في المتسعة تساوي

حيث C هي السعة الاولية و V هي فرق الجهد بين الصفيحتين والناجئة من الشحنة Q ولكن لذلك $V = Q/C$.

$$W_f = \frac{1}{2} C \left(\frac{Q}{C} \right)^2$$

$$= \frac{Q^2}{2C}$$

ان هذا المقدار مفضل بالاستعمال نظراً لأنه يعرف الطاقة الاولية المخزونة بدلالة الشحنة المعطاة ونظراً لأن الصفيحتين قد ابتعدتا عن بعضهما فان السعة قد نقصت بمقدار ΔC ، لذلك فان السعة النهائية تساوي $(C - \Delta C)$ وقيمة الطاقة النهائية المخزونة تساوي

$$W_f + \Delta W_f = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{(C - \Delta C)}$$

$$= \frac{Q^2(C + \Delta C)}{2(C^2 - \Delta C^2)}$$

ونظراً لأن Δx صغيرة و ΔC ايضاً صغيرة نسبياً عند مقارنتها مع C لذلك فان ΔC^2 يمكن اهمالها .

$$W_f + \Delta W_f = \frac{Q^2(C + \Delta C)}{2C^2}$$

$$= \frac{Q^2}{2C} + \frac{Q^2}{2C^2} \cdot \Delta C$$

$$\Delta W_f = \frac{Q^2}{2C^2} \cdot \Delta C$$

$$= F \cdot \Delta x$$

$$F = \frac{Q^2}{2C^2} \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

وباستعمال رموز التفاضل والتكامل وعندما تقترب Δx من الصفر فان :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta C}{\Delta x} &\rightarrow \frac{dC}{dx} \\ F &= \frac{Q^2}{2C^2} \cdot \frac{dC}{dx} \\ &= \frac{1}{2} V^2 \cdot \frac{dC}{dx} \end{aligned} \quad (6.15)$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} C V^2 \right) \\ &= \frac{dW}{dx} \end{aligned} \quad \text{من ذلك يتبع ان :}$$

لذلك فان القوة الميكانيكية تساوي معدل تغيير الطاقة المخزونة نتيجة تغيير شكل المنظومة وهذا هو المبدأ الرئيسي الذي تعتمد عليه كافة الاجهزة التي تحول الطاقة بين الأنظمة الكهربائية والميكانيكية . وسنرجع على تطبيقات هذه الاجهزة الكهر ومغناطيسية في الفصل 12 . ومن دراسة العلاقة (6.15) مرة ثانية نجد المنظومة ذات صفيحتين متوازيتين :

$$\begin{aligned} C &= \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{x} \\ \frac{dC}{dx} &= - \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{x^2} \end{aligned}$$

لذلك فان قوة التجاذب تساوي

$$F = - \frac{1}{2} V^2 \cdot \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{x^2} \quad (6.16)$$

ان الاشارة السالبة تعني ان القوة تعمل بعكس الاتجاه الذي قيست به المسافة بين الصفيحتين . وهذا يعني ان القوة هي قوة تجاذب . أما في العلاقة (6.15) فلم تظهر أي اشارة سالبة ولكن عند ايجاد dC/dx ظهرت الاشارة السالبة نظراً لأن السعة تقلص عند ازدياد المسافة بين الصفيحتين . وقد كان بالامكان اشتقاق العلاقة اعلاه اذا افترضنا فولتية ثابتة بدل الشحنة الثابتة ، الا ان ذلك لا يعني ان انتقال الطاقة متساوي في الحالتين . ففي حالة الشحنة الثابتة تكون الطاقة الميكانيكية قد حولت

الى طاقة مخزونة في المجال دون حدوث تغيير في الطاقة الكهربائية . اما في حالة الفولتية الثابتة فيجب ان يكون هناك انتقال في الشحنة من اولى الصفحتين لابقاء الفولتية ثابتة .
افرض ان المسافة بين الصفحتين زيدت بمقدار Δx كما سبق . فعند ابقاء الفولتية ثابتة وبانخفاض قيمة السعة يجب مغادرة جزء من الشحنة للصفحتين . كما ان الطاقة المخزونة ستخفص . لذلك فان الطاقة الميكانيكية المعطاة الى المنظومة لغرض فصل الصفحتين لم تتحول الى طاقة مخزونة في المجال نظراً لأن الأخيرة قد نقصت قيمتها . وان كلا هذين التغيرين في الطاقة قد تحولا الى المنظومة ان الشغل الميكانيكي المبذول يساوي

$$W_M = F \cdot \Delta x$$

$$= \frac{1}{2} V^2 \cdot \frac{dC}{dx} \cdot \Delta x$$

وان التغير في الطاقة المخزونة يساوي معدل تغيير الطاقة عند تغيير المسافة بين الصفحتين مضروباً في التغير Δx

$$W_F = \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} C V^2 \right) \cdot \Delta x$$

$$= \frac{1}{2} V^2 \cdot \frac{dC}{dx} \cdot \Delta x$$

لهذا فان التغير في طاقة المجال والطاقة الميكانيكية متساويان كما سبق . ولهذا السبب فان المقدار الجبري الذي يمثل القوة يبقى دون تغيير بالرغم من أن ذلك لم يظهر من البرهان اعلاه اما في المنظومة الكهربائية فالتغير في الشحنة يساوي معدل تغيير الشحنة عند تغيير المسافة بين الصفحتين مضروباً في المسافة Δx

$$\Delta Q = \frac{d}{dx} (C V) \cdot \Delta x$$

$$= V \cdot \frac{dC}{dx} \cdot \Delta x$$

وحيث أن الفولتية ثابتة لذلك فان التغير في الطاقة الكهربائية يساوي .

$$W_E = V^2 \cdot \frac{dC}{dx} \cdot \Delta x$$

وهذه النتيجة قد توصلنا اليها سابقاً عندما ذكرنا أن التغير في الطاقة الكهربائية يساوي مجموع التغير في الطاقة الميكانيكية والطاقة المخزونة .

ان اهم نقطة يجب ملاحظتها هي انقسام الطاقة الى جزئين متساويين وهذا سيناقتش بتفصيل اكثر في الفصل 12 كما سيوضحه المثال التالي .

مثال 9-6 متسعة ذات صفيحتين متوازيتين ، المسافة بينهما 0.5 ملم ، مملوءة بالهواء وكانت مساحة الصفيحتين 1 م² . شحنت الى فرق جهد يساوي 100 فولت . وسحبت الصفيحتان عن بعضهما الى ان اصحبت المسافة بينهما 1 ملم في الهواء . اذا فرضنا أن فرق الجهد بقي دون تغيير ، مامقدار الطاقة الميكانيكية المبذولة لفصل الصفيحتين .
عندما كانت المسافة بين الصفيحتين 0.5 ملم ، كانت سعة المنظومة .

$$C_1 = \frac{\epsilon_0 A}{d_1} = \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 1}{0.5 \times 10^{-3}}$$

$$= 17.7 \times 10^{-9} \text{ F}$$

وكانت الطاقة المخزونة الاولية تساوي .

$$W_{f1} = \frac{1}{2} CV^2 = 0.5 \times 17.7 \times 10^{-9} \times 100^2$$

$$= 8.854 \times 10^{-5} \text{ J}$$

اما بعد حدوث الحركة

$$C_2 = \frac{1}{2} C_1 = 8.854 \times 10^{-9} \text{ F}$$

$$W_{f2} = \frac{1}{2} W_{f1} = 4.427 \times 10^{-5} \text{ J}$$

كذلك

$$W_{f1} - W_{f2} = (8.854 - 4.427) \times 10^{-5}$$

$$= 4.427 \times 10^{-5} \text{ J}$$

لذلك فان التغيير في الطاقة

$$F = \frac{\Delta W_f}{\Delta x}$$

$$= \frac{4.427 \times 10^{-5}}{0.5 \times 10^{-3}}$$

$$= 8.854 \times 10^{-2} \text{ N}$$

$$= \underline{\underline{88.54 \text{ mN}}}$$

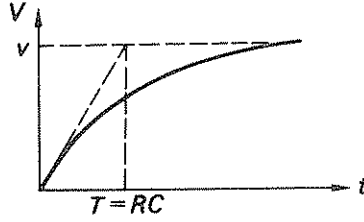
11.6 ثابت الزمن (Time Constant)

عند تسليط جهد مستمر على متسعة فان فرق الجهد بين الصفيحتين مع الزمن يكون كما مبين

بالمتحنى في شكل 14-6 . ان بالامكان تبيان ان المتحنى يزداد اسياً (exponentially)

باتجاه قيمة تساوي فولتية المصدر V وان مثل هذا المتحنى يأخذ شكلاً رياضياً كالاتى :

$$v = V(1 - e^{-(1/RC)t}) \quad (6.17)$$

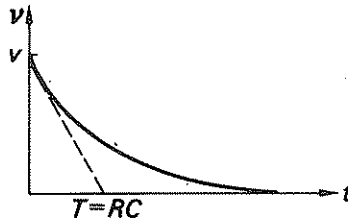


شكل 14-6 ازدياد فرق الجهد عبر متسعة

حيث ϵ هو اساس اللوغارتمات الطبيعية ويساوي 2.718 وبالرغم من أن تطبيق هذه العلاقة في الحسابات في مثل هذه المرحلة الابتدائية غير ضروري، إلا أن هذه العلاقة تستحق بعض التمهيد وبالأخص اس الكمية ϵ فالمقدار RC يدعى بتأبت الزمن للدائرة. فإذا فرضنا أن T تساوي ثابت الزمن

$$T = RC \quad (6.18)$$

ان ثابت الزمن هو الزمن المطلوب للفولتية والتيار لكي يصلا قيمتي وضع الاستقرار لهما اذا استمرا في التغيير بسرعتيهما الابتدائيتين للنمو أو الاضمحلال، حيث يقصد بالنمو زيادة فرق الجهد بين صفيحتي المتسعة فكلما زاد ثابت الزمن نجد أن فرق الجهد عبر المتسعة يأخذ زمناً أطول لكي يصل الى قيمة وضع الاستقرار له. ويحدث عكس ذلك عند مغادرة الطاقة للمتسعة اثناء تفريغها.



شكل 15-6 هبوط فرق الجهد في دائرة سعوية

مسائل على الكهروستاتيكية والسعة

1. جهد مستمر قيمته 200 فولت سلط عبر صفيحتي متسعة قيمتها 0.05 ميكروفاد وقد كانت المساحة الفعالة لكل صفيحة 0.05 م². اذا علمت أن السماحية المطلقة للعازل الكهربائي تساوي 20 بيكوفراد لكل متر . احسب :
 - أ- كثافة التدفق الكهربائي
 - ب- القوة الكهربائية

0.2 mC/m², 10 MV/m
2. متسعة ذات الصفيحتين المتوازيتين سعتها 500 بيكوفراد ومساحة الصفيحة الفعالة تساوي 0.025 م² فاذا كانت السماحية النسبية للعازل الكهربائي تساوي 2.5 وكانت الفولتية المسلطة على الصفيحتين ثابتة وتساوي 500 فولت احسب :
 - أ- التدفق الكهربائي
 - ب- كثافة التدفق الكهربائي
 - ج- القوة الكهربائية

0.25 μC, 0.01 mC/m², 45.3 MV/m
3. متسعة قيمتها 8 ميكروفاد شحنت بتيار ثابت . اذا ارتفعت الفولتية عبر هذه المتسعة من الصفراالى 240 فولت بمدد 40 ملي ثانية . اوجد قيمة التيار

48 mA
4. سلط فرق جهد مقداره 10 كيلوفولت على طرفي متسعة متكونة من صفيحتين دائريتين كل منهما ذات مساحة 0.01 م² ومفصولتان بعازل كهربائي سمكه 1 ملم . وجد أن السعة الناتجة تساوي 300 بيكوفراد . احسب
 - أ- التدفق الكهربائي الكلي
 - ب- كثافة التدفق الكهربائي
 - ج- السماحية النسبية للعازل

3 μC, 0.3 mC/m², 3.39
5. متسعة تامة الشحن افرغت شحنتها خلال مقاوم فانخفضت الفولتية عبرها من 250 فولت الى 50 فولت في 5 ثواني وكان معدل تيار التفريغ خلال هذه الفترة يساوي 2 ملي امبير احسب سعة المتسعة .

50 μF

6- متسعة ذات صفيحتين متوازيتين صنعت من صفيحتين معدنيتين مساحة كل منهما تساوي 0.02 م² ومفصولتان بطبقة من المايكا (Mica) سمكها 0.5 ملم . فإذا كانت السماحية النسبية للمايكا 6 . احسب سعة المتسعة .

شحن هذه المتسعة الى فرق جهد مقداره 100 فولت بين الصفيحتين ثم عزلت عن المصدر . سحبت طبقة المايكا دون تغيير المسافة بين الصفيحتين ودون حدوث اي تسرب في الشحنة . ما مقدار فرق الجهد الجديد بين الصفيحتين .

2120 pF, 600 V (SANCAD)

7- متسعة ذات صفيحتين متوازيتين المسافة بينهما 2 ملم وكانت قيمة السماحية النسبية للعازل الكهربائي 2.5 شحنت لفرق جهد 1 كيلو فولت . احسب كثافة التدفق بين الصفيحتين .

11.07 $\mu\text{C}/\text{m}^2$

8- الدائرة ABCD ربطت كما يلي : تحتوي AB على متسعة قيمتها 5 ميكروفراد مربوطة على التوازي مع أخرى قيمتها 7 ميكروفراد . وتحتوي BC على متسعة قيمتها 2 ميكروفراد . أما CD فتحوي على متسعة قيمتها 4 ميكروفراد على التوازي مع متسعتين مربوطين على التوالي قيمتهما 20 ميكروفراد و 5 ميكروفراد . كما ربطت متسعة قيمتها 2 ميكروفراد بين A و D إذا ساط مصدر تيار مستمر بين A و D مقدار 100 فولت اوجد ما يلي :

أ- السعة الفعالة بين A و D

ب- الشحنة المحتجزة نتيجة الطاقة المخزونة في المتسعة 20 ميكروفراد .

3.41 μF , $7.05 \times 10^{-5} \text{ C}$

9- دائرة ABCD ربطت كما يلي : AB متسعة قيمتها 10 ميكروفراد و BC يحتوي على ثلاثة فروع متوازية اثنان منهما يحتويان متسعتين كل منهما 8 ميكروفراد ، بينما يحتوي الثالث على متسعتين قيمتهما 8 ميكروفراد مربوطين على التوالي . اما CD فيحتوي على متسعة قيمتها 12 ميكروفراد على التوازي مع أخرى قيمتها 8 ميكروفراد . جهزت الدائرة من مصدر للتيار المستمر قيمته 400 فولت احسب :

أ- السعة الفعالة بين A و D

ب- الشحنة المحتجزة والطاقة المخزونة في المتسعة 12 ميكروفراد .

ج- فرق الجهد بين A وملتقى المتسعتين المربوطين على التوالي

1.2 mC, 60 mJ, 250 V (SANCAD)

10- متسعة متكونة من صفيحتين مستويتين كل منهما ذات مساحة 5000 ملم² ومفصولتين بعازل سمكه 1 ملم . كانت سعة المتسعة هذه 0,0002 ميكروفاد . سلط عليها فرق جهد مقداره 10 كيلوفولت ، احسب :

- أ- شحنة الصفيحتين .
- ب- السماحية النسبية للعازل الكهربائي
- ج- كثافة التدفق الكهربائي
- د- الطاقة المخزونة

$$2 \mu\text{C}, 4.52, 400 \mu\text{C}/\text{m}^2, 10 \text{ mJ}$$

11- متسعة 20 بيكوفاد مصنوعة من صفيحتين معدنيتين متوازيتين عرض كل منهما 50 ملم وكان أكبر تدرج للجهد في العازل الدهني* لا يزيد عن 10 كيلو فولت لكل متر عندما سلط عليهما فرق جهد مقداره 10 فولت . احسب طول الصفيحتين .
إذا ربطت المتسعة على التوالي مع متسعة ثانية قيمتها 50 مايكروفاد وسلط فرق جهد مقداره 100 فولت عبر المجموعة 6 احسب الفولتية عبر كل منهما ثم احسب الطاقة المخزونة في المجال الكهربائي مفترضاً ان المتسعتين مثاليتان*

$$7.56 \text{ cm}, 71.5 \text{ V}, 28.5 \text{ V}, 7 \times 10^{-8} \text{ J}$$

12- متسعة قيمتها 5 ميكروفاد يستعمل فيها عازل كهربائي من الورق ويعمل بفولتية عظمى مقدارها 500 فولت . شحنت المتسعة من مصدر للتيار المستمر . احسب
أ- مساحة الصفيحة والمسافة بين الصفيحتين اذا كان أقصى اجهاد مسموح به للورق يساوي 250 كيلو فولت لكل متر والسماحية النسبية تساوي 6
ب- فرق الجهد عبر صفيحتي المتسعة بعد 7.5 ثانية اذا امكن ابقاء التيار ثابتاً بقيمة 0.1 ملي أمبير .

$$188.5 \text{ m}^2, 2.0 \text{ mm}, 150 \text{ V}$$

13- متسعة متوازية الصفيحتين تامة العزل تتكون من صفيحتين مستويتين كل منهما ذات مساحة 0.05 م² ومفصولتان بعازل كهربائي صلب سماحيته النسبية 4 وسمكه 0.02 ملم . سلط فرق جهد عبر الصفيحتين مقداره 50 فولت . احسب :

- أ- السعة
 - ب- الشحنة على المتسعة والطاقة المخزونة فيها
- وإذا ربطت المتسعة الى مصدر للتيار المستمر بحيث ارتفع فرق جهد صفيحتيها من 50 الى 200 فولت بسرعة ثابتة مقدارها 20 فولت بالثانية . احسب تيار الشحن والتغير في الطاقة المخزونة

$$8850 \text{ pF}, 0.4425 \mu\text{C}, 11.07 \mu\text{J}, 0.177 \mu\text{A}, 166 \mu\text{J}$$

و ان السماحية النسبية للعازل الدهني تساوي 5.4×10^5

(المترجمان)

14. متسعتان A و B كل منهما مكونة من صفيحتين متوازيتين ، ربطتا على التوالي فإذا كانت مساحة الصفيحة A تساوي 5000 م² وعازلها الكهربائي من الهواء والمسافة بين صفيحتيها 1 ملم وكانت مساحة صفيحة B تساوي 2000 م² والمسماحية النسبية لعازلها الكهربائي الصلب 4 وسلك العازل 0.5 ملم ، اوجد :
- أ- الفولتية عبر المنظومة اذا كان تدرج الجهد المصاحب للمتسعة A يساوي 100 كيلو فولت لكل متر.
- ب- الشحنة على كل متسعة .
- ج- الطاقة المخزونة في المجال الكهروستاتيكي .

$$131 \text{ V}, 4400 \text{ pC}, 0.221 \mu\text{J}$$

- 15- شريحة منتظمة من مادة عازلة سمكها t موضوعة على الصفيحة السفلى لمتسعة متوازية الصفيحتين وقد ملأ العازل بين الصفيحتين جزءاً من الفراغ ثم سحب العازل وقلصت المسافة بين الصفيحتين بمقدار d لكي تبقى سعة المنظومة كما كانت . اعمل التهدب وبرهن على صحة العلاقة :

$$e_r = \frac{t}{t - d}$$

- 16- متسعة ذات صفيحتين متوازيتين مصنوعة من صفيحتين قطرهما 254 ملم ومفصولتان بمسافة 2 ملم في الهواء . وضع بينهما طبقة من النايلون سمكها 1 ملم ، فكانت السعة الناتجة 360 ميكروفراد . احسب السماحية النسبية للنايلون .

4-1 (SANCAD)

17. وضح كيف يمكن استعمال متسعة لتقليص الشحنة على نقاط تلامس زر للتيار المستمر عند فتحه . فرق جهد مستمر قيمته 100 فولت سلط فجأة على دائرة تحتوي على متسعة غير مشحونة قيمتها 100 ميكروفراد على التوالي مع مقاوم قيمته 500 أوم . احسب المعدل الابتدائي لارتفاع الفولتية عبر المتسعة والطاقة النهائية المخزونة فيها

$$2 \text{ kV/s}, 0.5 \text{ J (SANCAD)}$$

الفصل السابع

دوائر التيار المتناوب ذات الظهور الواحد

في الفصل الثاني لاحظنا تأثير المقاومة فقط عند تحليل دوائر التيار المستمر اما دوائر التيار المتناوب فلها عوامل اضافية اخرى من الضروري أخذها بنظر الاعتبار ، وهذه العوامل هي الخاتمة والسعة . ولغرض تحديد هذه الدراسة الاولية سنعالج الدوائر التي تكون فيها أشكال موجات الفولتية والتيار جيبية فقط . ان هذه الفرضية هي فرضية واقعية نظراً لأنها تنطبق على معظم دوائر التيار المتناوب وستتم مناقشة ذلك ثانية في نهاية هذا الفصل .

1.7 المقاومة

لا تخلو اي دائرة كهربائية من مقاومة ما . وكما مر في دوائر التيار المستمر فانه يمكن الاخذ بنظر الاعتبار المقاومات الكبيرة نسبياً في الدائرة فقط . في مثل هذه الدائرة التي تحوي مقاومة فقط والمبينة في شكل 1-7 لنفرض ان مصدر الفولتية متمثل بـ $v = V_m \sin \omega t$ وكانت المقاومة تساوي R ، ففي اي لحظة يكون التيار الناتج :

$$i = \frac{v}{R} = \frac{V_m}{R} \sin \omega t \quad (7.1)$$

ان القيمة العظمى لهذا المقدار تحدث عندما يكون $\sin \omega t = 1$ لذلك

$$I_m = \frac{V_m}{R}$$

ومن التعويض في (7.1)

$$i = I_m \sin \omega t \quad (7.2)$$

وكذلك

$$V_m = I_m R$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cdot R$$

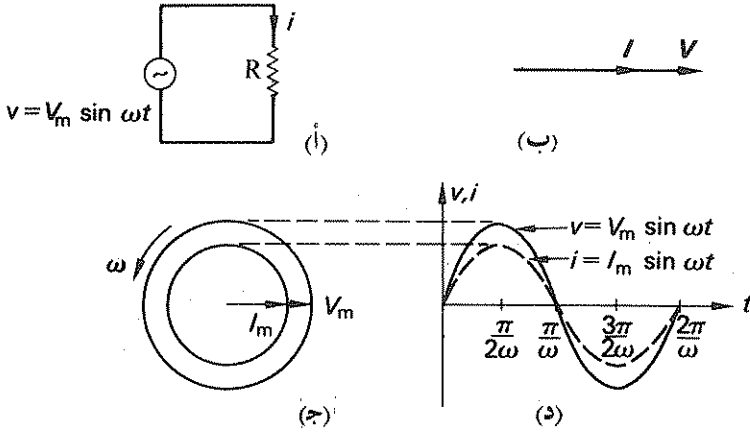
لذلك عند استعمال قيم ج . م . ت .

$$V = IR$$

يبين الشكل 1-7 موجتي الفولتية والتيار لهذه الحالة . حيث ان كلا الموجتين جيبيتان وترتفعان وتنخفضان سوية . وعند سلوك موجتين ذلك يقال ان لهما نفس الطور (in phase) ، حيث يمران بنقطة

الصفر بنفس اللحظات عندما $t = 0$. صفر . $\frac{\pi}{\omega}$. $\frac{2\pi}{\omega}$. الخ

كما يمران بقيمتيهما العظمتين بنفس اللحظات أي عندما $t = \frac{\pi}{2\omega}$... الخ ويمران خلال قيمتيهما الصغرتين في نفس اللحظات أي عندما $t = \frac{3\pi}{2\omega}$... الخ لذلك فإن الفولتية والتيار في دائرة تحوي مقاومة فقط يكونا متحدي الطور.



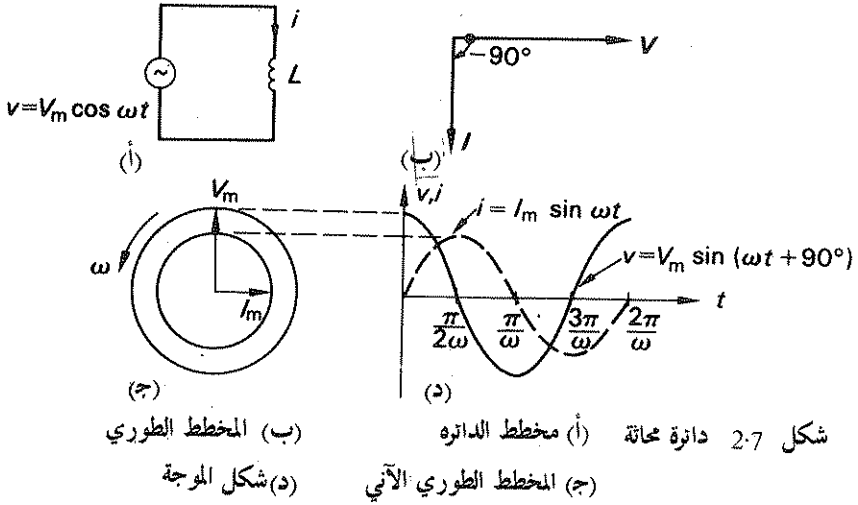
شكل 1-7 دائرة مقاومة بحتة أ- مخطط الدائرة ب- المخطط الطوري ج- المخطط الطوري الآني د- شكل الموجه

لقد رسم المخطط الآني عند اللحظة $t=0$ صفر . يمكن حساب الفولتيات والتيارات الآنية عند رسم القيم الآنية للطوريات المسقطه على المحور العمودي ومن جهة اخرى فان المخطط الطوري يرمز لقيم ج . م . ت . والاتجاهات النسبية والتي لها مدلول زمني فقط . وبصورة عامة من المناسب اعتبار الفولتية كمرجع ثم رسم الطوري اقلها .

2-7 . المحاطة

كل دائرة كهربائية تحوي لفة واحدة بسبب اكمالها دورة واحدة على الاقل ومن ثم فان هذه الدائرة تحوي محاطة في حالة وضع الاستقرار وحيث أنه لدوائر التيار المستمر ليس للمحاطة اي تأثير ، لذلك لا تستوجب ضمها لدوائر التيار المستمر عند دراسة وضع الاستقرار كما مر في الفصل الثاني . اما في دوائر التيار المتناوب فان تغيير التيار بسبب تغييرا في التدفق الذي يبحث ق . د . ك . في الدائرة ويظهر ذلك كهبوط فعال بالفولت .

سنحاول تحليل محاطة فقط في الدائرة المبينة بالشكل 2-7 . فمن تعريف المحاطة (راجع الفقرة 6-5)



$$v = L \frac{di}{dt}$$

$$i = I_m \sin \omega t$$

$$v = L \frac{d}{dt} (I_m \sin \omega t)$$

$$= \omega L I_m \cos \omega t$$

$$= \omega L I_m \sin(\omega t + \pi/2)$$

(7.4)

لنفرض أن التيار يساوي

$$V_m = \omega L I_m \quad \text{لذلك}$$

$$\frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \omega L$$

$$V = I \omega L \quad \text{وبقيم ج. م. ت.}$$

$$= I(2\pi f L) \quad (7.5)$$

حيث ωL تساوي $2\pi f L$ وتدعى بالمفاعلة الحثية (Inductive Reactance) للذاترة ويرمز لها بالرمز X_L ، لذلك :

$$V = I X_L \quad (7.5.1)$$

المفاعلة الحثية الرمز: X_L الوحدة أوم: (Ω)

$$(7.5.2)$$

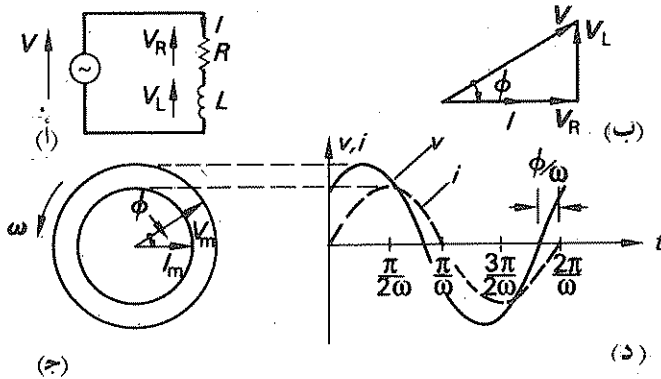
$$\omega L = 2\pi f L = X_L \quad \text{كذلك}$$

لذلك نرى الفاعلة الحثية تعتمد على تركيب الدائرة وتردد الكميات المتناوبة .
 بين مخطط شكل الموجات 2-7 د العلاقة الطورية بين الفولتية والتيار كما اشتقت من العلاقة (7-4)؛ حيث يتضح أن الفولتية والتيار لم يعودا بنفس الطور ولكن بدلاً من ذلك بينهما فرق طور مقداره $\pi 2\omega$ أي أن بينهما فرق طور مقداره ربع الموجة . ويلاحظ أن الفولتية تسبق (Leading) التيار ويقال عن اشكال موجات مثل هذه بانها متعامدة in Quadrature

في المخطط الطوري اعلاه ، اخذت الفولتية كمرجع وقد تبين الان أن التيار يتخلف عن الفولتية بـ 90° درجة . لذلك فان الخاصية المهمة للدائرة الحثية هي كون التيار متخلفاً عن الفولتية . كما يجب أن يلاحظ أنه نظراً لكون كلاً من الفولتية والتيار لهما نفس التردد الزاوي لذلك يمكن رسمهما بنفس المخطط الطوري ، والذي يعطي فكرة عن ازاختهما الطورية النسبية . ولقد رسم المخطط الطوري الآتي في اللحظة $t = 0$ صفر للعلاقة (7-4) ، والذي مقارنته مع الشكل 1-7 (ج)

3.7 المقاومة والمحاعة على التوالي

بعد ان درسنا تأثير المقاومة والمحاعة منفصلتين في دائرة ما نجد من الضروري الان دراسة تأثيرهما بصورة مشتركة . ويمكن أن يتم ذلك ببسط الاشكال عند ربط المقاومة والمحاعة على التوالي كما مبين في شكل 3-7 أ



شكل 3-7 مقاومة ومحاعة على التوالي أ — مخطط الدائرة ب — المخطط الطوري ج — المخطط الطوري الآتي د — مخطط الموجة

من تطبيق كروشوف الثاني ، يمكن رسم المخطط الطوري والذي أخذ فيه التيار كمرجع ، نظراً لانه مشترك لكافة عناصر الدائرة المربوطة على التوالي ، وعليه يمكن اشتقاق فولتية الدائرة من العلاقات التالية :

$$\begin{aligned} V_R &= IR, & \text{حيث } V_R & \text{بنفس الطور مع } I \\ V_L &= IX_L, & \text{وحيث } V_L & \text{يسبق } I \text{ بـ } 90^\circ \\ V &= V_R + V_L \end{aligned}$$

في المخطط الطوري المبين في شكل (3.7 ب) يمكن الحصول على الفولتية من العلاقة (7-6) والتي يجب أن تكون بصيغة مركبة إذ أن المجموع الحسابي V_L و V_R لا يعطي القيمة الصحيحة للفولتية الكلية V بل أكثر منها .

وان الزاوية بين V و I تدعى بزاوية الطور ويرمز لها بـ ϕ

$$\begin{aligned} V &= (V_R^2 + V_C^2)^{\frac{1}{2}} && \text{كذلك} \\ &= (I^2 R^2 + I^2 X_C^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= I(R^2 + X_C^2)^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

$$V = IZ \quad \text{لذلك} \quad (7.7)$$

$$\begin{aligned} Z &= (R^2 + X_L^2)^{\frac{1}{2}} && \text{حيث} \\ &= (R^2 + \omega^2 L^2)^{\frac{1}{2}} && (7.8) \end{aligned}$$

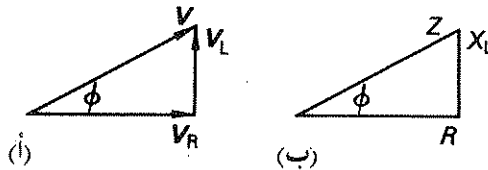
تدعى Z بممانعة (Impedance) الدائرة . وسنرى فيما بعد ان العلاقة (7-7) مشتقة من العلاقة $V = IR$ والتي استعملت في تحليل دوائر التيار المستمر الا انه ولأني تردد معين تكون الممانعة ثابتة . لذلك فان قانون اوم ينطبق على تحليل دوائر التيار المتناوب أيضاً .

الوحدة: أوم (Ω)

الرمز: Z

الممانعة

ان المخطط الطوري الآني ومخطط شكل الموجة الناتجة يبينان ان التيار يتخلف عن الفولتية بزاوية طور أكبر من الصفر وأصغر من 90° . ان زاوية الطور بين الفولتية والتيار تحسب من نسبة قيمة المقاومة الى قيمة المفاعلة الحثية في الدائرة وكلما كبرت قيمة هذه النسبة كلما صغرت الزاوية ϕ . ويمكن تطوير النص أعلاه أكثر من ذلك بالرجوع الى المخطط الطوري ، فان أي ضلع في مثلث جمع الفولتيات له نفس العامل I ، ومن ثم يمكن رسم المثلث بأي مقياس رسم باستعمال المقاومة والمفاعلة والممانعة كما مبين في شكل 4-7 . ويدعى هذا المثلث بمثلث الممانعة .



شكل 4-7 مثلثي الفولتية والممانعة أ- مخطط الدائرة ب- المخطط الطوري ج- المخطط الطوري الآني د- مخطط الموجة

كما مر في شكل (3.7 ب) فان المثلث هنا قائم الزاوية أيضاً وهذا يمكن مقارنته مع العلاقة (7.8) حيث من هيئة المخطط ينتج :

$$\begin{aligned}\phi &= \tan^{-1} \frac{V_1}{V_R} = \tan^{-1} \frac{IX_L}{IR} \\ &= \tan^{-1} \frac{X_L}{R}\end{aligned}\quad (7.8.1)$$

ولغرض التأكيد على تخلف التيار عن الفولتية ، من الاعتيادي اعطاء الزاوية الناتجة بإشارة سالبة او باستعمال كلمة تخلف (lag) بعد ذكر الزاوية ، وذلك كما موضح في المثال (1.7) . يمكن اشتقاق زاوية الطور كما يلي :

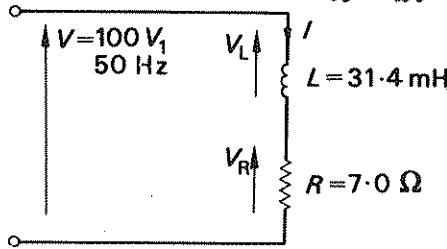
$$\phi = \cos^{-1} \frac{V_R}{V} = \cos^{-1} \frac{R}{Z} \quad (7.8.2)$$

$$\phi = \cos^{-1} \frac{R}{(R^2 + \omega^2 L^2)^{\frac{1}{2}}}$$

لذلك :

مثال (1.7) مقاومة قيمتها 7 أوم ربطت على التوالي مع محاطة بحنة قيمتها 31.4 ملي هنرى وربطت الدائرة الى مصدر جيبى ذي 100 فولت وتردد 50 هرتز . احسب :

أ - تيار الدائرة
ب - زاوية الطور



شكل 5.7 أ - مخطط الفولتية ب - مخطط الممانعة

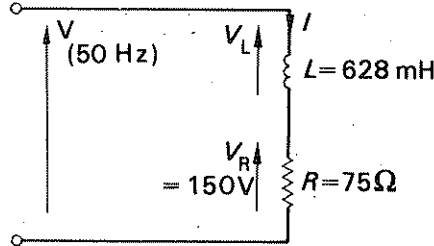
$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 50 \times 31.4 \times 10^{-3} = 10.0 \Omega$$

$$Z = (R^2 + X_L^2)^{\frac{1}{2}} = (5.0^2 + 10.0^2)^{\frac{1}{2}} = 12.2 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{100}{12.2} = 8.2 \text{ A}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{X_L}{R} = \tan^{-1} \frac{10.0}{7.0} = 55.1^\circ \text{ أو تخلف } 55.1^\circ$$

مثال (2-7) محث بحت قيمته 622 ملي هنرى . ربط على التوالي مع مقاومة بحتة قيمتها 75 أوم وجهاز الدائرة من مصدر جيبي تردده 50 هرتز ، فوجد ان الفولتية عبر المقاومة تساوي 150 فولت . احسب فولتية المصدر .



شكل 6-7

$$V_R = 150 \text{ V}$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{150}{75} = 2 \text{ A}$$

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 50 \times 628 \times 10^{-3} = 100 \Omega$$

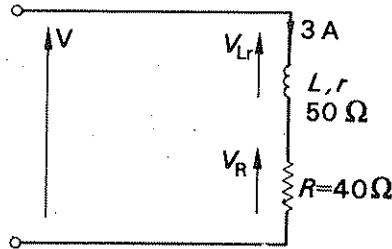
$$V_L = IX_L = 2 \times 100 = 200 \text{ V}$$

$$V = (V_R^2 + V_L^2)^{\frac{1}{2}} = (150^2 + 200^2)^{\frac{1}{2}} = 250 \text{ V}$$

وبطريقة أخرى $Z = (R^2 + X_L^2)^{\frac{1}{2}} = (75^2 + 100^2)^{\frac{1}{2}} = 125 \Omega$

$$V = IZ = 2 \times 125 = 250 \text{ V}$$

مثال (3-7) ملف يحوي مقاومة ومحاثة بنفس الوقت ، وممانعته الكلية الفعالة تساوي 50 أوم وزاوية الطور للتيار المار فيه بالنسبة الى الفولتية المسلطة عليه متخلفة بمقدار 45° . ربط الملف على التوالي مع مقاوم قيمته 40 أوم الى مصدر جيبي فكان تيار الدائرة 3 أمبير . قدر قيمة فولتية المصدر وزاوية طور الدائرة بالاستعانة بالمخطط الطوري .

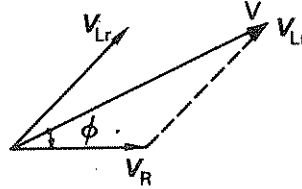


شكل 7-7

$$V_R = IR = 3 \times 40 = 120 \text{ V}$$

$$V_{Lr} = IZ_{Lr} = 3 \times 50 = 150 \text{ V}$$

من الضروري ملاحظة التوصيف برموز سفلية في السطر السابق . حيث من الخطأ كتابة المعادلة بشكل V_{Lr} تساوي $I Z$ حيث Z قد استعملت لترمز للممانعة الكلية للدائرة . وفي مسائل أعقد يمكن استعمال ارقام مثلا Z_1 . Z_2 . Z_3 ... الخ . . اما في هذا المثال فان مثل هذه الطريقة تكون ممة



شكل 8-7

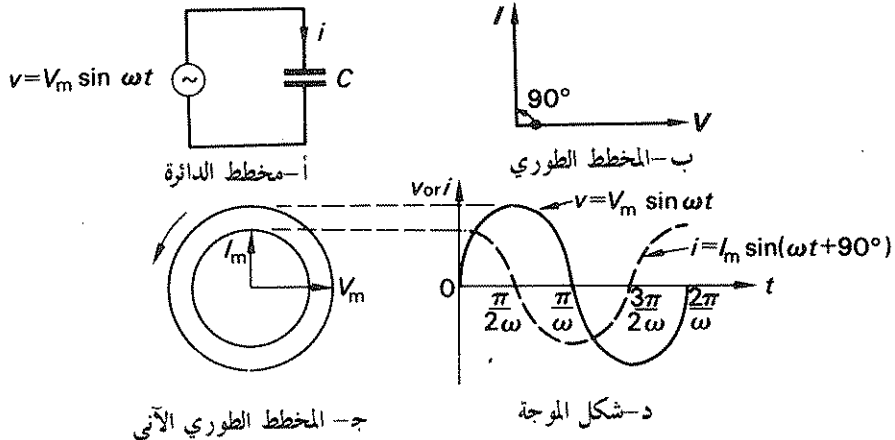
يمكن رسم المخطط الطوري برسم الطوري V_R بمقياس مناسب . ان اتجاه هذا الطوري ينطبق مع اتجاه التيار I . ونظراً لأن الفولتية عبر الملف تسبق التيار بـ 45° . فان الطوري V_{Lr} يمكن رسمه ايضاً ، لذلك فان الجمع المركب للفولتيتين يعطي قيمة الفولتية الكلية من الشكل :

$$V = 250 \text{ V}$$

$$\phi = 26^\circ \text{ يتخلف}$$

4-7 السعة

لكل دائرة محمّاة . بسبب وضعها الفيزيائي كما مر بنا سابقاً . هذا اضافة لاحتوائها على سعة نظراً لتقارب الموصلات فيها بجهد مختلف . لنفرض دائرة بسيطة كالمبينة في شكل 9-9 أ والتي تحوي على سعة بحتة . سلطت عليها فولتية $v = V_m \sin \omega t$ فمن تعريف السعة (راجع الفقرة 4-6)



ج- المخطط الطوري الآني

د- شكل الموجة

شكل 9-7 دائرة متسعة بحتة

$$\begin{aligned}
q &= Cv = CV_m \sin \omega t \\
i &= \frac{dq}{dt} = C \frac{dv}{dt} \\
&= C \frac{d}{dt}(V_m \sin \omega t) \\
&= \omega CV_m \cos \omega t \\
&= \omega CV_m \sin(\omega t + 90^\circ)
\end{aligned} \tag{7.9}$$

$$\begin{aligned}
I_m &= \omega CV_m && \text{لذلك} \\
\frac{I_m}{\sqrt{2}} &= \frac{\omega CV_m}{\sqrt{2}}
\end{aligned}$$

وبقيم ج . م . ت .

$$\begin{aligned}
I &= \omega CV \\
V &= I \cdot \frac{1}{\omega C} = I \cdot \frac{1}{2\pi fC}
\end{aligned} \tag{7.10}$$

(Capacitive Reactance) السعوية المفاعلة تساوي $1/2\pi fC$ وتدعى المفاعلة السعوية (X_C) لذلك للدائرة والتي يرمز لها بالرمز X_C .

$$V = IX_C \tag{7.10.1}$$

المفاعلة السعوية الرمز : X_C الوحدة : أوم (Ω) كذلك

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \tag{7.10.2}$$

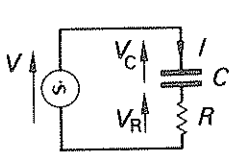
لذلك نجد ان المفاعلة السعوية تعتمد على تركيب الدائرة وتردد الكميات المتناوبة .
يبيّن مخطط شكل الموجة (شكل 5.7 د) العلاقة بين الفولتية والتيار كما اشتقت من العلاقة (7.9) .
وكما هي الحال في الحثية البحتة ، هناك فرق بين الفولتية والتيار مقداره ربع دورة . الا ان التيار يسبق الفولتية في هذه الحالة . لذلك يقال في كلا الحالتين ان التيار متعاقد مع الفولتية . ويبقى الفرق فيما اذا كان التيار يسبق او يتخلف عن الفولتية .

يمكننا ان نستنتج ان زاوية الطور للدائرة السعوية موجبة ويقال عنها تسبق (Leading) بينما زاوية الطور الحثية سالبة ويقال انها تتخلف . لذلك فان خاصية الدوائر السعوية ان يسبق التيار فيها الفولتية .

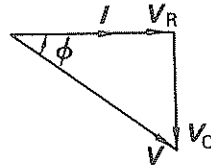
ان المخطط الطوري الآتي مرسوم للحظة $t = 0$ صفر في المقدار (7-9) ، وهذا يمكن مقارنته مع الشكلين 1-7 ، 2-7 .

5-7 دائرة مقاومة وسعة على التوالي

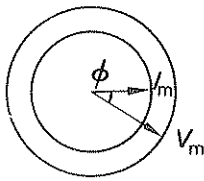
ان تأثير ربط مقاومة وسعة على التوالي مبين في شكل 10-7 . وقد اخذ التيار مرة أخرى كمرجع . يمكن اشتقاق فولتية الدائرة من العلاقات التالية :



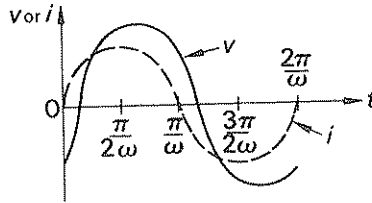
أ- مخطط الدائرة



ب- المخطط الطوري



ج- المخطط الطوري الآتي



د- شكل الموجة

شكل 10-7 مقاومة متسعة على التوالي

$$V_R = IR, \quad \text{حيث } V_R \text{ بنفس الطور مع } I$$

$$V_C = IX_C, \quad \text{حيث } V_C \text{ تتخلف عن } I \text{ بـ } 90^\circ$$

$$V = V_R + V_C$$

$$V = (V_R^2 + V_C^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{كذلك}$$

$$= (I^2 R^2 + I^2 X_C^2)^{\frac{1}{2}}$$

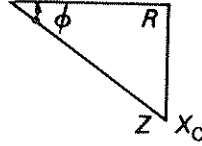
$$= I(R^2 + X_C^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$V = IZ \quad \text{لذلك}$$

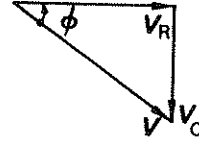
$$Z = (R^2 + X_C^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{حيث}$$

$$= \left(R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7.11)$$

مرة أخرى فإن Z هي ممانعة الدائرة والتي تبقى ثابتة في تردد معين . لذلك فهي الثابت المستعمل في قانون أوم أي ان النسبة بين الفولتية عبر الدائرة الى التيار المار فيها يساوي الممانعة ، على فرض بقاء الظروف دون تغيير . ان المخطط الطوري الآتي ومخطط الموجة الناتجة يبينان ان التيار يسبق الفولتية المسالطة بزواوية طور اكبر من الصفر وأقل من 90° . ان زاوية الطور بين الفولتية والتيار تحسب من نسبة المقاومة الى المفاعلة السعوية للدائرة ، حيث كلما كبرت هذه النسبة كانت الزاوية ϕ أصغر . ويمكن توضيح ذلك من رسم مثلث الممانعة في الدائرة كما مبين في الشكل 11-7 من الوضع الهندسي للمخطط



ب- مخطط الممانعة



أ- مخطط الفولتية

شكل 11-7 مخططات الفولتية والممانعة

$$\begin{aligned}\phi &= \tan^{-1} \frac{V_C}{V_R} = \tan^{-1} \frac{IX_C}{IR} \\ &= \tan^{-1} \frac{X_C}{R}\end{aligned}$$

(7.11.1)

ولغرض التأكيد على ان التيار يسبق الفولتية من الاعتيادي اما اعطاء قيمة موجبة للزاوية الناتجة او استعمال كلمة يسبق بعد الزاوية ، وذلك كما موضح في المثال (4-7) . ويمكن اشتقاق زاوية الطور كما يلي :

$$\begin{aligned}\phi &= \cos^{-1} \frac{V_R}{V} = \cos^{-1} \frac{R}{Z} \\ &= \cos^{-1} \frac{R}{\left(R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}\right)^{\frac{1}{2}}}\end{aligned}$$

(7.11.2)

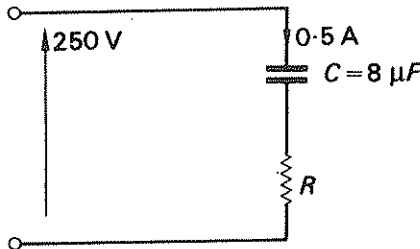
- مثال 4-7 متسعة قيمتها 8 ميكروفراد تسحب تياراً مقداره 1 أمبير عندما تسلط عليها فولتية متناوبة قيمتها 250 فولت . احسب .
- أ- تردد الفولتية المسالطة
- ب- المقاومة التي يجب ان تربط على التوالي مع المتسعة لتقليل التيار في الدائرة الى 0.5 أمبير في نفس التردد .
- ج- زاوية طور الدائرة الناتجة

$$X_C = \frac{V}{I} = \frac{250}{1.0} = 250 \Omega$$

$$= \frac{1}{2\pi fC}$$

$$\therefore f = \frac{1}{2\pi CX_C} = \frac{1}{2\pi \times 8 \times 10^{-6} \times 250} = 79.5 \text{ Hz}$$

عند ربط مقاومة على التوالي مع المتسعة تكون الدائرة كما يلي :



شكل 12-7

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{250}{0.5} = 500 \Omega$$

$$= (R^2 + X_C^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$X_C = 250 \Omega$$

$$R = \underline{433 \Omega}$$

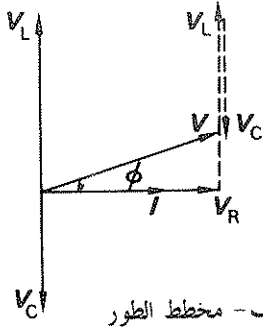
$$\phi = \cos^{-1} \frac{R}{Z} = \cos^{-1} \frac{433}{500} = \underline{+30^\circ} \text{ or } \underline{30^\circ} \text{ يسبق}$$

ولكن

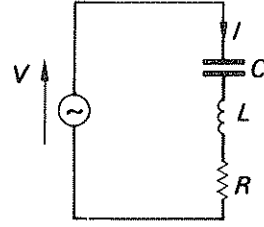
لذلك

6-7 الدائرة العامة على التوالي للتيار المتناوب

بعد ان انتهينا من دراسة احتمالات المكونات منفصلة عن بعضها . يبقى علينا تحليل دائرة عامة للتيار المتناوب تحوي مقاومة ومحاثة وسعة مربوطة على التوالي . فكما سبق ان مخطط المركبات المبين في شكل 13-7 ب قد رسم باعتبار التيار كمرجع . الا انه عند جمع مركبات الفولتية معاً يلاحظ ان الفولتية عبر المحاثة V_L والفولتية عبر السعة V_C لهما طورين متعاكسين . مما ينتج عنه ان الدائرة يمكن ان تكون مفاعلتها حثية أو سعوية معتمدة على أي من الفولتيتين تغلب .



ب- مخطط الطور



أ- مخطط الدائرة

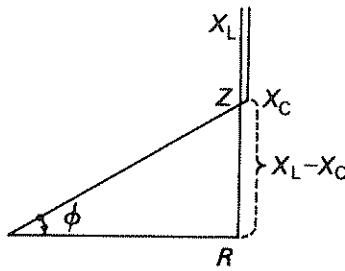
شكل 13-7 دائرة تيار متناوب عامة

$$\begin{aligned} V &= (V_R^2 + (V_L - V_C)^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= (I^2 R^2 + (IX_L - IX_C)^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= I(R^2 + (X_L - X_C)^2)^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

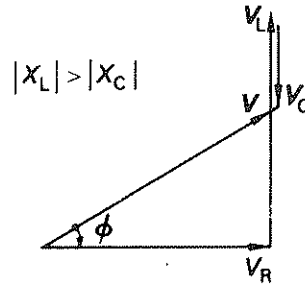
$$V = IZ \quad \text{لذلك}$$

$$Z = (R^2 + (X_L - X_C)^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{حيث} \quad (7.12)$$

ان حلول هذه العلاقة تقع في احدى المجاميع التالية :
 أ - X_L ناقصاً X_C تكون موجبة (X_L أكبر من X_C) والدائرة حثية
 ب - X_L ناقصاً X_C تكون سالبة (X_C أكبر من X_L) والدائرة سعوية
 ج - X_L ناقصاً X_C تساوي صفراً ($X_C = X_L$) والدائرة تكون دائرة مقاومة بحتة .
 وسندرس حلها بتفصيل أكثر في الفقرة 12-7 .



ب) مخطط الممانعة



أ- مخطط الفولتية

شكل 14-7 مثلثي الفولتية والممانعة لدائرة متواليه

ويبين الشكل 14-7 مثلث الممانعة الذي يعود للحل أ : وهنا يجب ملاحظة ان استعمال اشارة سالبة مع

قيمة المعاملة السعوية لا يؤثر على قيمة المعاملة المشتقة نظراً لا استخدام تربيع القيم . حيث تختفي الإشارة السالبة ، الا ان الإشارة السالبة تظهر من مصطلح الرموز للمخطط المركب .
يمكن الحصول على زاوية الطور بالطريقة الاعتيادية :

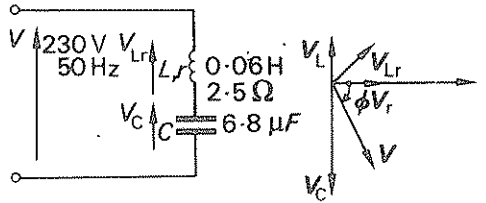
$$\phi = \tan^{-1} \frac{V_L - V_C}{V_R} = \tan^{-1} \frac{X_L - X_C}{R} \quad (7.12.1)$$

كذلك

$$\phi = \cos^{-1} \frac{R}{Z} = \cos^{-1} \frac{R}{(R^2 + (X_L - X_C)^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (7.12.2)$$

مثال (5.7)

مصدر للتيار المتناوب ذو 250 فولت و 50 هرتز مجهز ملفاً محاثته 0.06 هنرى ومقاومته الفعالة 2.5 اوم مربوط على التوالي مع متسعة قيمتها 6.8 ميكروفاد . احسب التيار وزاوية الطور للدائرة ثم احسب الفولتية عبر كل جزء من مكونات الدائرة .



شكل 15.7

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi 50 \times 0.06 = 18.85 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi 50 \times 6.8 \times 10^{-6}} = 468 \Omega$$

$$X = X_L - X_C = 18.85 - 468 = -449.15 \Omega$$

$$Z = (R^2 + X^2)^{\frac{1}{2}} = (2.5^2 + 449.15^2)^{\frac{1}{2}} = 449.2 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{250}{449.2} = 0.512 \text{ A}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{X}{R} = \tan^{-1} \frac{449.15}{2.5} = 89.7^\circ \quad \text{تسبق}$$

$$Z_{LR} = (R^2 + X_L^2)^{\frac{1}{2}} = (2.5^2 + 18.85^2)^{\frac{1}{2}} = 19.1 \Omega$$

$$V_{LR} = IZ_{LR} = 0.512 \times 19.1 = 9.8 \text{ V}$$

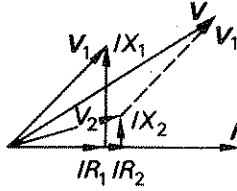
$$V_C = IX_C = 0.512 \times 468 = 253 \text{ V}$$

ان الدوائر على التوالي يمكن ان تكون معقدة باحتوائها على ممانعتين او أكثر . لنفرض في دائرة تحوي ممانعتين ربطتا على التوالي كما في شكل 16.7 . وقد رسم المخطط الطوري باستعمال التيار كمرجع ويمكن اكماله بتطبيق العلاقات التالية :

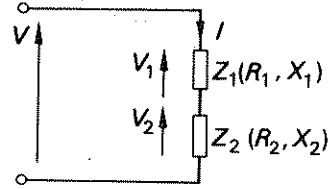
$$V_1 = IZ_1$$

$$V_2 = IZ_2$$

$$V = V_1 + V_2$$



ب- المخطط الطوري



أ- مخطط الدائرة

شكل 16.7 دائرة متوالية معقدة

$$\begin{aligned} V &= ((IR_1 + IR_2)^2 + (IX_1 + IX_2)^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{من العلاقات الهندسية للمخطط} \\ &= I((R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= IZ \\ Z &= ((R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{حيث} \end{aligned}$$

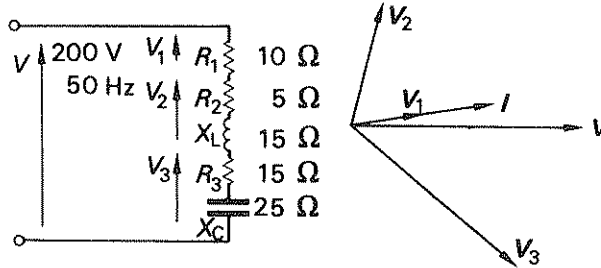
لذلك يمكن ايجاد ممانعة الدائرة بتجميع المقاومات المنفردة والمفاعلات بمجاميعها المتشابهة وبذلك يمكن تبسيطها بممانعة فعالة واحدة .

مثال (6.7) ثلاث ممانعات مربوطة على التوالي الى مصدر للتيار المتناوب ذي 200 فولت و 50 هرتز . كانت الممانعة الاولى مقاومة قيمتها 10 أوم والثانية ملف ذو مفاعلة حثية قيمتها 15 أوم ومقاومة قيمتها 5 أوم والثالثة تحتوي على مقاوم قيمته 15 أوم على التوالي مع متسعة ذات مفاعلة سعوية 25 أوم احسب

أ - تيار الدائرة .

ب - زاوية طور الدائرة .

ج - الهبوط بالفولت للممانعة



شكل 17.7

$$R_1 + R_2 + R_3 = 10 + 5 + 15 = 30 \Omega$$

$$X_2 + X_3 = 15 - 25 = -10 \Omega$$

$$Z = (R^2 + X^2)^{\frac{1}{2}} = (30^2 + 10^2)^{\frac{1}{2}} = 31.6 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{200}{31.6} = 6.32 \text{ A}$$

$$\phi = \cos^{-1} \frac{R}{Z} = \cos^{-1} \frac{30.0}{31.6} = 18.5^\circ \text{ تسبق}$$

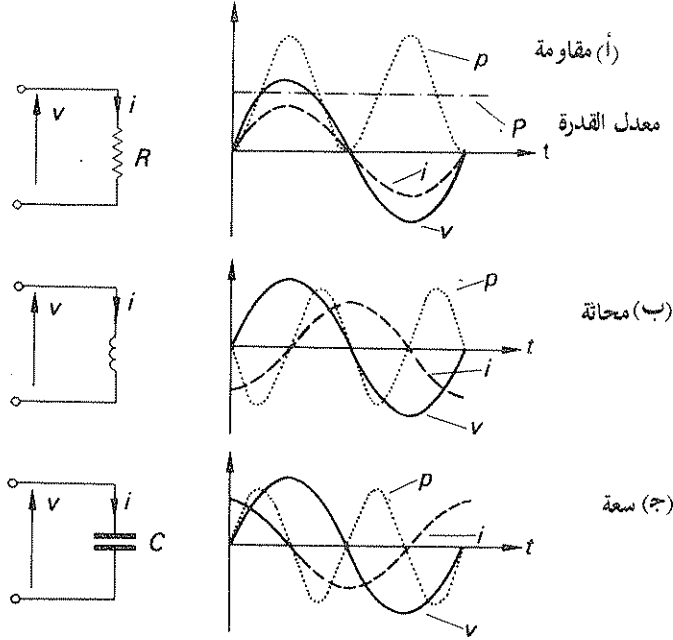
$$V_1 = IR_1 = 6.32 \times 10 = 63.2 \text{ V}$$

$$V_2 = IZ_2 = I(R_2^2 + X_2^2)^{\frac{1}{2}} = 6.32(15^2 + 5^2)^{\frac{1}{2}} = 100 \text{ V}$$

$$V_3 = IZ_3 = I(R_3^2 + X_3^2)^{\frac{1}{2}} = 6.32(15^2 + 25^2)^{\frac{1}{2}} = 184.5 \text{ V}$$

7.7 القدرة (Power)

ان الغرض من امرار تيار في أي دائرة هو نقل الطاقة من محل لآخر . من ذلك ينتج ان الخلاصة النهائية لتحليل أي دائرة هي حساب معدل انتقال الطاقة اي القدرة الناتجة او المصروفة في الدائرة .



شكل 18.7 مخططات اشكال موجة القدرة

لنفرض كل عنصر من عناصر الدائرة على انفراد ، حيث يبين الشكل 18.7 مخططات اشكال الموجة لمقاومة ومحاثة وسعة ، حيث اضيف لموجات التيار والفولتية موجات لحاصل الضرب $v i$. ونظراً لأن القيم الآتية لـ $v i$ تمثل القدرة الآتية p ، ينتج من ذلك ان هذه الموجات هي موجات القدرة . ونظراً لأن القدرة تتردد باستمرار لذلك تؤخذ في دائرة التيار المتناوب كقيمة المعدل للموجة . في حالة كون المقاومة بحيث يمكن ايجاد متوسط القدرة من تعريف الج . م . ت . للتيار في الدائرة أي انه

$$P = I^2 R \quad (7.13)$$

وهذه العلاقة يمكن كتابتها بالشكل

$$P = VI \quad (7.13.1)$$

وبشكل اخر يمكن اشتقاق متوسط الطاقة من التحليل الاعتيادي لشكل موجة القدرة كما يلي :

$$P = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} (V_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \omega t) dt$$

$$\begin{aligned}
&= V_m I_m \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} (\sin^2 \omega t) dt \\
&= V_m I_m \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right) dt
\end{aligned}$$

من هذه العلاقة يمكن أن نلاحظ أن الموجة لها ضعف تردد مكوناتها أي موجتي الفولتية والتيار كما مبين في شكل 18-7 . إلا أنه يجب أن نلاحظ أن الموجة جيبية بالرغم من أنها مزاحة (displaced) عن المحور الأفقي .

$$\begin{aligned}
P &= V_m I_m \frac{\omega}{2\pi} \left[\frac{t}{2} - \frac{\sin 2\omega t}{4\omega} \right]_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \\
&= V_m I_m \frac{\omega}{2\pi} \cdot \frac{2\pi}{2\omega} \\
&= \frac{V_m I_m}{2} \\
&= VI
\end{aligned}$$

(7.13.1)

أما في حالتنا المحيطة والسعة فإن دراسة أشكال موجات القدرة تبين أن التردد يكون ضعف تردد المصدر أيضاً إلا أن الموجة هنا تكون متناظرة حول المحور الأفقي أي أن معدلها يساوي صفراً لذلك فإن المحث البحت أو المتسعة البحت لا تفقد فيهما أية طاقة كهربائية ، بل يخزنانها لفترة قصيرة من الزمن ثم يعيدانها ثانية إلى الدائرة .

يمكن من تحليل موجة القدرة البرهنة على أن الدوائر الحثية والسعوية لا تفقد فيها قدرة فإذا فرضنا حالة المتسعة

$$\begin{aligned}
P &= \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} (V_m \sin \omega t \cdot I_m \cos \omega t) dt \\
&= V_m I_m \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} (\sin \omega t \cdot \cos \omega t) dt \\
&= V_m I_m \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \frac{\sin 2\omega t}{2} \cdot dt \\
&= V_m I_m \frac{\omega}{2\pi} \left[-\frac{\cos 2\omega t}{4\omega} \right]_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \\
&= 0
\end{aligned}$$

(7.14)

لاحظ بالمعادلة وجود الحد $\cos 2\omega t$ حيث التردد هو 2ω بالمقارنة مع $\sin \omega t$ للتيار والفولتية والذي تردده ω (المترجمان)

ففي الحالة المبينة في شكل 19-7 حيث يوجد هناك عنصران أو أكثر في الدائرة يمكن اشتقاق القدرة من قيمة ج. م. ت للتيار كما يلي

$$P = I^2 R = \frac{V}{Z} \cdot IR = VI \cdot \frac{R}{Z}$$

$$= VI \cos \phi \quad (7.15)$$

لذلك فان القدرة المتكونة في الدائرة أقل من تلك القيمة التي نحصل عليها نتيجة ضرب الفولتية في التيار نظراً لأن $0 < \cos \phi < 1$. ان مخطط الموجة يبين أن شكل موجة القدرة جيبي بطبيعته أيضاً وان تردده ضعف تردد المصدر. إلا أنه لم يزح بصورة كاملة عن المحور الأفقي. ان حاصل ضرب الفولتية والتيار في دوائر التيار المتناوب تسمى بالقدرة الظاهرية (Apparent power)

الوحدة فولت أمبير (VA)	الرمز: S
------------------------	----------

$$S = VI \quad (7.16)$$

يدعى العامل $\cos \phi$ بعامل القدرة (power factor) ويمكن أن يعرف بأنه الدالة التي اذا ضربت بها القدرة الظاهرية تنتج القدرة الحقيقية. ان عامل القدرة $\cos \phi$ خاص بالانظمة المتغيرة جيبياً.

$$P = S \cos \phi$$

$$= VI \cos \phi \quad (7.16.1)$$

وسنناقش المميزات الاخرى لعامل القدرة ثانية في الفقرة 13-7 واخيراً فان التحليل الاعتيادي لموجة القدرة المبينة في شكل 19-7 يكون كما يلي

$$P = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} (V_m \sin \omega t \cdot I_m \sin (\omega t + \phi)) dt$$

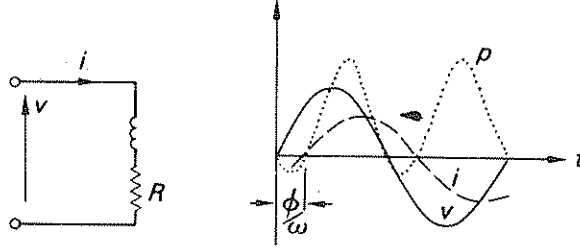
$$= V_m I_m \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} (\sin \omega t (\sin \omega t \cdot \cos \phi + \cos \omega t \cdot \sin \phi)) dt$$

$$= V_m I_m \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} (\sin^2 \omega t \cdot \cos \phi + \sin \omega t \cdot \cos \omega t \cdot \sin \phi) dt$$

$$= V_m I_m \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \cdot \cos \phi + \frac{\sin 2\omega t}{2} \cdot \sin \phi \right) dt$$

ومن مقارنة ذلك مع البراهين السابقة ينتج أن

$$P = VI \cos \phi \quad (7.16.2)$$



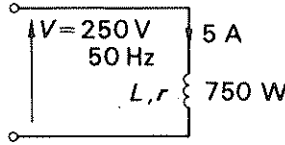
شكل 19-7 القدرة في دائرة معقدة متوالية

مثال (7-7) ربط ملف محث الى مصدر ذي 250 فولت و 50 هرتز . فسحب تياراً مقداره

5 أمبير وفقدت فيه قدرة قيمتها 750 واط احسب :

أ- مقاومة وعحاثة الملف

ب- عامل القدرة للملف



شكل 20-7

في هذا المثال نرسم لمقاومة الملف بـ r بدلاً من R لجلب الانتباه الى حقيقة ان هذه المقاومة ليست منفصلة عن الدائرة بل هي جزء لا يتجزأ من ملف المحث . وهذه الطريقة قد استخدمت سابقاً في المثال (3-7) .

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{250}{5} = 50 \Omega$$

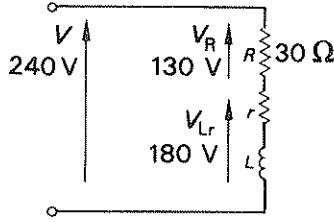
$$r = \frac{P}{I^2} = \frac{750}{5^2} = 30 \Omega$$

$$X_L = (Z^2 - r^2)^{\frac{1}{2}} = (50^2 - 30^2)^{\frac{1}{2}} = 40 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{40}{2\pi 50} = \frac{40}{314} = 0.127 \text{ H} \\ = \underline{\underline{127 \text{ mH}}}$$

$$\text{عامل القدرة} = \cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{R}{VI} \\ = \frac{750}{250 \times 5} = 0.6 \text{ يتخلف}$$

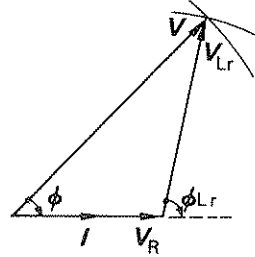
مثال (8-7) ملف محث ربط على التوالي مع مقاوم بحيث قيمته 30 أوم عبر مصدر ذي 240 فولت و 50 هرتز. قيست الفولتية عبر الملف فوجدت انها تساوي 180 فولت والفولتية عبر المقاوم 130 فولت . احسب القدرة المفقودة في الملف .



شكل 21-7

يمكن رسم المخطط المركب برسم المركب I أولاً ثم رسم فولتية المقاوم حيث يرسم بنفس طور I . ونظراً لأن قيمتي زاوية الطور للملف وزاوية الطور للدائرة غير معروفتين ، فمن الضروري اكمال الشكل برسمه حسب مقياس رسم معين ، حيث يمكن رسم قوسي دائرتين تمثلان V_{Lr} و V من تركيب الفرجال في نهايتي V_R وان نقطة تقاطع قوسي الدائرتين تحقق العلاقة

$$V = V_R + V_{Lr}$$



شكل 22-7

من الوضع الهندسي للمخطط

$$V^2 = V_R^2 + V_{Lr}^2 + 2V_R V_{Lr} \cos \phi_{Lr}$$

$$240^2 = 130^2 + 180^2 + 2 \times 130 \times 180 \times \cos \phi_{Lr}$$

$$\cos \phi_{Lr} = 0.177 \text{ lag}$$

$$I = \frac{V_R}{R} = \frac{130}{30} = 4.33 \text{ A}$$

$$P_r = V_{Lr} I \cos \phi_{Lr} = 180 \times 4.33 \times 0.177 = \underline{138 \text{ W}}$$

وبتعبير آخر

$$Z_{Lr} = \frac{V_{Lr}}{I} = \frac{180}{4.33} = 41.5 \Omega$$

$$r = Z_{Lr} \cos \phi_{Lr} = 41.5 \times 0.177 = 7.35 \Omega$$

$$P_r = I^2 r = 4.33^2 \times 7.35 = \underline{138 \text{ W}}$$

(8.7) الدوائر المتوازية البسيطة

بعد ان انتهينا من الدراسة الاولية للدائرة على التوالي يمكننا الان دراسة الدوائر على التوازي . وحيث ان القاريء قد اعتاد على تحليل دوائر التيار المتناوب واصطلاحاتها فانه من الممكن الان عرض الموضوع بشكل مختصر .

هناك نوعان من الدوائر المتوازية البسيطة والتي يطلب تحليلها وهما المقاومة والمحاعة على التوازي والمقاومة والسعة على التوازي . وسندرس المحاعة والسعة على التوازي في الفقرة 12.7 .

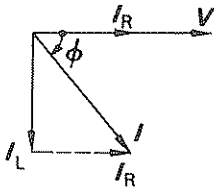
عند تحليل دائرة متوازية ، علينا ان نتذكر انها تتألف من دائرتين متواليتين او اكثر مربوطتين على التوازي لذلك فان كل فرع في الدائرة يمكن تحليله بصورة منفصلة كدائرة على التوالي ثم يجمع تأثير الفروع المختلفة بتطبيق قانون كرشوف الاول اي بجمع التيارات في الفروع بصورة مركبة وحسب المخطط الطوري .

ان دائرة المقاومة والمحاعة على التوازي مبينة في الشكل 23.7 أ ، ففي فرع المقاومة يكون التيار

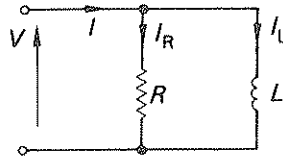
$$I_R = \frac{V}{R}, \quad \text{حيث } I_R \text{ و } V \text{ لهما نفس الطور}$$

$$I_L = \frac{V}{X_L}, \quad \text{وفي فرع المحاعة يكون التيار}$$

حيث I_L يتخلف عن V بـ 90°



ب) المخطط الطوري



أ) مخطط الدائرة

شكل 23.7 مقاومة ومحاعة على التوازي

يبين الشكل 23-7 ب المخطط الطوري الناتج . وقد اخذت الفولتية التي هي الجزء المشترك بين الفرعين كمرجع . وحيث ان الدوائر المتوازية اكثر شيوفاً فان ذلك يعطي سبباً وجيهاً لاعتبار الفولتية كمرجع في تحليل الدوائر بشكل اعتيادي . ويمكن الحصول على تيار المصدر I بجمع تيارات الفروع بشكل مركب اي انه

$$I = I_R + I_L \quad (7.17)$$

ومن المخطط المركب

$$\begin{aligned} I &= (I_R^2 + I_L^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= \left(\left(\frac{V}{R} \right)^2 + \left(\frac{V}{X_L} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= V \left(\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2} \right)^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

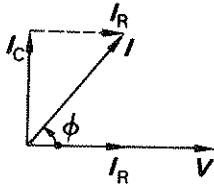
$$\frac{V}{I} = Z = \frac{1}{\left(\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (7.18)$$

يمكننا ان نلاحظ من المخطط الطوري ان زاوية الطور ϕ هي زاوية تخلف

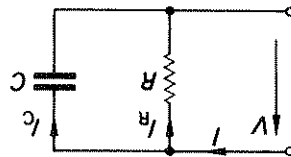
$$\phi = \tan^{-1} \frac{I_L}{I_R} = \tan^{-1} \frac{R}{X_L} = \tan^{-1} \frac{R}{\omega L} \quad (7.18.1)$$

وكذلك

$$\phi = \cos^{-1} \frac{I_R}{I} = \cos^{-1} \frac{Z}{R} \quad (7.18.2)$$



ب) المخطط الطوري



أ) مخطط الدائرة

شكل 24-7 مقاومة ومتسعة على التوازي

في حالة ربط المقاومة والسعة على التوازي كما مبين في شكل 24-7 أفان التيار في فرع المقاومة يساوي أيضاً

$$I_R = \frac{V}{R} \quad \text{حيث } I_R \text{ و } V \text{ لهما نفس الطور}$$

وفي فرع السعة يكون التيار

$$I_C = \frac{V}{X_C} \quad \text{حيث } I_C \text{ يسبق } V \text{ بـ } 90^\circ$$

يرسم المخطط الطوري بالطريقة الاعتيادية معتمداً على العلاقة :

$$I = I_R + I_C \quad (7.19)$$

من المخطط الطوري

$$\begin{aligned} I &= (I_R^2 + I_C^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= \left(\left(\frac{V}{R} \right)^2 + \left(\frac{V}{X_C} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= V \left(\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2} \right)^{\frac{1}{2}} \\ \frac{V}{I} &= Z = \frac{1}{\left(\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (7.20.2) \end{aligned}$$

يمكننا ان نلاحظ من المخطط الطوري ان زاوية الطور ϕ هي زاوية سيق . وينتج من ذلك ان ربط الدائرة على التوازي ينتج نفس خصائص الدائرة على التوالي ، حيث ان ربط المقاومة مع المحاطة يسببان دائرة تخلف ، بينما عند ربط المقاومة والسعة تنتج دائرة سبق

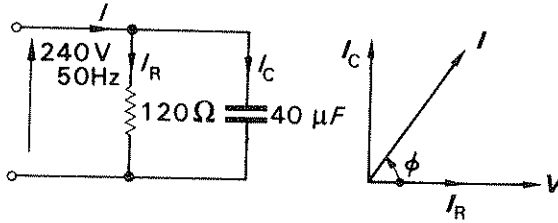
$$\phi = \tan^{-1} \frac{I_C}{I_R} = \tan^{-1} \frac{R}{X_C} = \tan^{-1} R\omega C \quad (7.20.1)$$

وكذلك

$$\phi = \cos^{-1} \frac{I_R}{I} = \cos^{-1} \frac{Z}{R} \quad (7.20.2)$$

مثال (9.7) دائرة تحتوي على مقاوم قيمته 120 أوم على التوازي مع متسعة قيمتها 40 ميكروفاد مربوطة الى مصدر ذي 240 فولت و 50 هرتز . احسب

- أ - تيارات الفروع و تيار المصدر
ب - زاوية طور الدائرة
ج - ممانعة الدائرة



شكل 25.7

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{240}{120} = 2.0 \text{ A}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 40 \times 10^{-6}} = 80 \Omega$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{240}{80} = 3.0 \text{ A}$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{2.0^2 + 3.0^2} = 3.6 \text{ A}$$

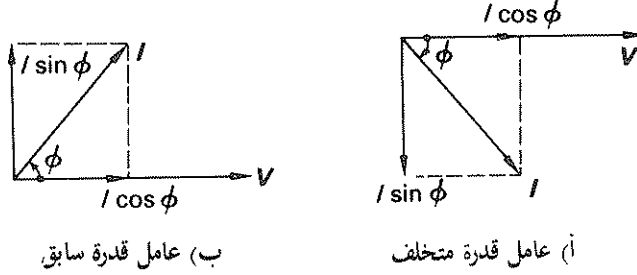
$$\phi = \cos^{-1} \frac{I_R}{I} = \cos^{-1} \frac{2.0}{3.6} = 56.3^\circ \text{ يسبق}$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{240}{3.6} = 66.7 \Omega$$

9.7 دوائر الممانعات المتوازية

ان تحليل الممانعات على التوازي يشابه ما تم شرحه في الفقرة السابقة ، حيث ان الفولتية تؤخذ كمرجع وتحسب تيارات الفروع بالنسبة للفولتية . الا ان مجموع تيارات الفروع قد اصبح هنا أكثر

تعقيداً ، اذ انه لا يتطلب ان تكون بنفس الطور او متعامدة مع بعضها ، لذلك وقيل ان يكون بالامكان تحليل دوائر الممانعات المتوازية ، من الضروري استحداث اداة تحليل جديدة هي مكونات التيار



شكل 26-7 مركبات التيار

عند دراسة الشكل 26-7 يتبين ان التيار I يتخلف عن (او يسبق) الفولتية V بزاوية طور ϕ . ان هذا التيار يمكن ان يتكون من مكونتين او مركبتين متعامدتين على بعضهما كما يلي :

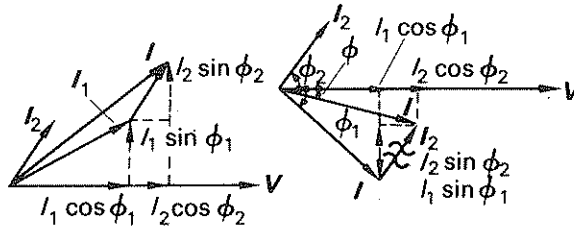
أ- $I \cos \phi$ والتي تكون بنفس الطور مع الفولتية وتسمى مركبة القدرة او المركبة الفعالة (Active)

ب- $I \sin \phi$ والتي تكون متعامدة مع الفولتية وتدعى بالمركبة العمودية او المركبة المتفاعلة (Reactive) . من العلاقات الهندسية للمخطط :

$$I^2 = (I \cos \phi)^2 + (I \sin \phi)^2$$

يلاحظ بان المقدار $I \cos \phi$ قد مر علينا سابقاً في العلاقة (7-15) حيث اعطيت القدرة لدوائر التيار المتناوب بالعلاقة $V I \cos \phi$. من الممكن ملاحظة ان القدرة الممتصة من قبل الحمل يمكن ان تعزى لمركبة التيار $I \cos \phi$ وهذا هو السبب الذي من اجله سميت بمركبة القدرة . ان المركبة المتفاعلة يمكن ان تتخلف عن (او تسبق) الفولتية بـ 90° معتمدة على التيار فيما اذا كان يتخلف عن (او يسبق) الفولتية V

بجمع التيارات I_1 I_2 كما مبين في شكل 27-7 فانه



شكل 27-7 جمع طوريات التيار

$$I = I_1 + I_2$$

ويمكن الحصول على قيمة I من رسم المخطط الطورزي بمقياس رسم مناسب الا ان ذلك لا يكون ممكناً على الدوام ، ولكن يمكن حسابها اذا حلل التيار الى مركباته ، لذلك

$$I \cos \phi = I_1 \cos \phi_1 + I_2 \cos \phi_2$$

$$I \sin \phi = I_1 \sin \phi_1 + I_2 \sin \phi_2$$

$$I^2 = (I \cos \phi)^2 + (I \sin \phi)^2$$

ولكن

$$I^2 = (I_1 \cos \phi_1 + I_2 \cos \phi_2)^2 + (I_1 \sin \phi_1 + I_2 \sin \phi_2)^2 \quad (7.21)$$

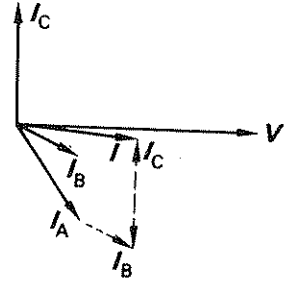
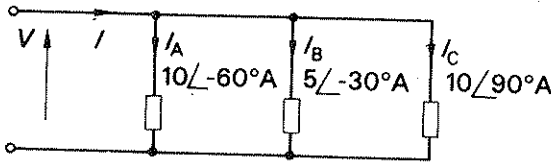
لذلك

$$\phi = \tan^{-1} \frac{I_1 \sin \phi_1 + I_2 \sin \phi_2}{I_1 \cos \phi_1 + I_2 \cos \phi_2}$$

كذلك

$$= \cos^{-1} \frac{I_1 \cos \phi_1 + I_2 \cos \phi_2}{I} \quad (7.21.1)$$

مثال (10-7) دائرة متوازية تحتوي الفروع C,B,A : فاذا كان $I_A = 10 \angle -60^\circ \text{ A}$ امبير
 امبير وكانت جميع زوايا الطور مأخوذة بالنسبة
 $C = 10 \angle 90^\circ$ امبير و $I_B = 5 \angle -30^\circ$
 لفولتية المصدر اوجد تيار المصدر وعامل القدرة الكلي .



شكل 28-7

$$I = I_A + I_B + I_C$$

$$\begin{aligned} I \cos \phi &= I_A \cos \phi_A + I_B \cos \phi_B + I_C \cos \phi_C \\ &= 10 \cos -60^\circ + 5 \cos -30^\circ + 10 \cos 90^\circ \\ &= 9.33 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \sin \phi &= I_A \sin \phi_A + I_B \sin \phi_B + I_C \sin \phi_C \\ &= 10 \sin -60^\circ + 5 \sin -30^\circ + 10 \sin 90^\circ \\ &= -1.16 \text{ A} \end{aligned}$$

حيث ترمز الإشارة السالبة الى ان مركبة التيار النسبية متخلفة ، ويكون عامل القدرة الكلي متخلفاً ايضاً

$$I = ((I \cos \phi)^2 + (I \sin \phi)^2)^{\frac{1}{2}}$$

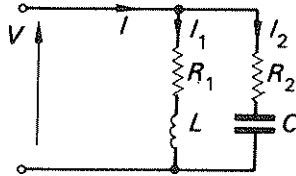
$$= (9.33^2 + 1.16^2)^{\frac{1}{2}} = 9.4 \text{ A}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{I \sin \phi}{I \cos \phi} = \tan^{-1} \frac{1.16}{9.33} = 7.1^\circ \text{ يتخلف}$$

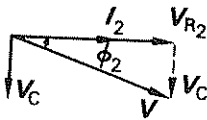
$$I = \underline{9.4 \angle -7.1^\circ \text{ A}}$$

متخلف عامل القدرة = $\cos \phi = \cos 7.1^\circ = 0.993$

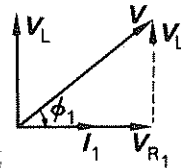
لفرض الدائرة المبينة في شكل 29.7 والتي يتضح فيها دائرتان على التوالي مربوطتان على التوازي بغرض تحليل هذه المجموعة . رسمت المخططات الطورية لكل فرع كما في شكل 29.7 ب و 29.7 ج . وفق المبادئ التي شرحت في الفقرتين 3.7 و 5.7 يلاحظ هنا انه في كل فرع يؤخذ التيار كمرجع .



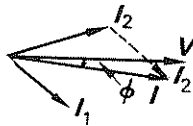
(أ) مخطط الدائرة



(ج) المخطط الطوري للفرع 2



(ب) المخطط الطوري للفرع 1



(د) المخطط الطوري للدائرة كاملة

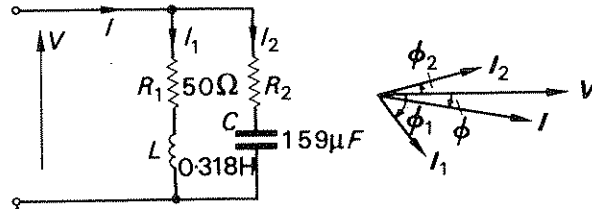
شكل 29.7 دائرة ممانعة على التوازي

ولكن عند جمع الفروع على التوازي يكون من الافضل اخذ فولتية المصدر كمرجع . لذلك فقد ادير الشكلان 29-7 ب و 29-7 ج بصورة مستقلة ثم وضع احدهما فوق الاخر كما مبين في الشكل 29-7 د . وبعد ذلك يمكن جمع طوريات التيار لاعطاء القيمة الكلية للتيار واعطاء علاقة الطور مع الفولتية وفرق الزاوية . ان تحليل المخطط قد تم بنفس الطريقة المشروحة اعلاه . وان زاوية الطور للدائرة المبينة في شكل 29-7 أ هي زاوية تخلف اذا كان $I_1 \sin \phi_1$ اكبر من $I_2 \sin \phi_2$ وتكون زاوية سبق اذا كانت $I_1 \sin \phi_1$ اصغر من $I_2 \sin \phi_2$ كما يجب ان نلاحظ ان ذلك كان كمثال فقط لتبيان طريقة التحليل . حيث ان كل فروع الدائرة يمكن ان تكون حثية اوسعوية كما انه يمكن ان يكون في الدائرة اكثر من فرعين . ان الهدف الاساسي لهذه الدراسة هو تبيان الخطوط العريضة لطريقة التحليل .

مثال 11-7 ملف ذو مقاومة مقدارها 50 أوم ومحاثة 0.318 هنرى . ربط على التوازي مع دائرة تحوي مقاوم قيمته 75 أوم على التوالي مع متسعة قيمتها 159 ميكروفراد ثم ربطت الدائرة الناتجة عبر مصدر للتيار المتناوب فولتيته 240 فولت وتردده 50 هرتز احسب :

أ- تيار المصدر

ب- ممانعة الدائرة ومقاومتها ومفاعلتها



شكل 30-7

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi 50 \times 0.318 = 100 \Omega$$

$$Z_1 = (R_1^2 + X_L^2)^{\frac{1}{2}} = (50^2 + 100^2)^{\frac{1}{2}} = 112 \Omega$$

$$I_1 = \frac{V}{Z_1} = \frac{240}{112} = 2.15 \text{ A}$$

$$\phi_1 = \cos^{-1} \frac{R_1}{Z_1} = \cos^{-1} \frac{50}{112} = \cos^{-1} 0.447 = 63.5^\circ \text{ يتخلف}$$

$$I_1 = 2.15 \angle -63.5^\circ \text{ A}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi 50 \times 159 \times 10^{-6}} = 20 \Omega$$

$$Z_2 = (R_2^2 + X_C^2)^{\frac{1}{2}} = (75^2 + 20^2)^{\frac{1}{2}} = 77.7 \Omega$$

$$I_2 = \frac{V}{Z_2} = \frac{240}{77.7} = 3.09 \text{ A}$$

$$\phi_2 = \tan^{-1} \frac{X_C}{R_2} = \tan^{-1} \frac{20}{77.7} = \tan^{-1} 0.267 = 15^\circ \text{ يسبق}$$

ملاحظة : لقد استعملنا في الحل ظل الزاوية نظراً لأن ϕ_2 صغيرة نسبياً .

$$I_2 = 3.09 \angle 15^\circ \text{ A}$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$I \cos \phi = I_1 \cos \phi_1 + I_2 \cos \phi_2$$

$$= 2.15 \cos -63.5^\circ + 3.09 \cos 15^\circ = 3.94 \text{ A}$$

$$I \sin \phi = I_1 \sin \phi_1 + I_2 \sin \phi_2$$

$$= 2.15 \sin -63.5^\circ + 3.09 \sin 15^\circ = -1.13 \text{ A}$$

$$I = ((I \cos \phi)^2 + (I \sin \phi)^2)^{\frac{1}{2}} = (3.94^2 + 1.13^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \underline{4.1 \text{ A}}$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{240}{4.1} = \underline{58.5 \Omega}$$

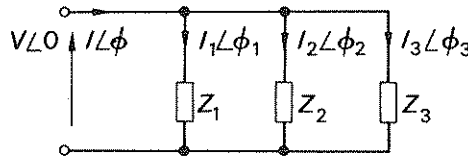
$$R = Z \cos \phi = Z \cdot \frac{I \cos \phi}{I} = 58.5 \times \frac{3.94}{4.1} = \underline{56 \Omega}$$

$$X = Z \sin \phi = Z \cdot \frac{I \sin \phi}{I} = 58.5 \times \frac{1.13}{4.1} = \underline{15 \Omega}$$

ونظراً لأن $I \sin \phi$ سالبة ، فإن المفاعلة تكون حثية فإن الدائرة تكافئ مقاوم قيمته 56 أوم مع مفاعلة حثية قيمتها 15 أوم مربوطتين على التوالي .

10.7 الممانعات القطبية Polar Impedances

في المثال 11.7 اشتقت الممانعة من التيار والفولتية . لهذا علينا ان نتساءل لماذا لا يمكن معاملة الممانعات المتوازية بنفس الطريقة التي عوملت بها المقاومات المتوازية ؟ لنفرض ثلاث ممانعات مربوطة على التوازي كما مبين في شكل 31.7 . ففي الفرع الأول :



شكل 31.7 الممانعات القطبية على التوازي

$$V = I_1 Z_1$$

في الفرع الاول :

ولكن اذا أخذنا بنظر الاعتبار زوايا الطور I و V ولغرض ابقاء التوازن فان الممانعة يجب ان تتصرف كمركب وتكون ذات زاوية طور أي انه

$$V \angle \phi = I_1 \angle \phi_1 \cdot Z_1 \angle -\phi_1$$

ان زاوية طور الممانعة هي مرافق الزاوية طور الدائرة وهذا يتقارن مع مثلثات الممانعة (المشروحة سابقاً مع اجراء تعاكس في القطبية) . باستعمال رموز المركب

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

وباستعمال الرموز القطبية

$$\begin{aligned} I \angle \phi &= I_1 \angle \phi_1 + I_2 \angle \phi_2 + I_3 \angle \phi_3 \\ \therefore \frac{V \angle 0}{Z \angle -\phi} &= \frac{V \angle 0}{Z_1 \angle -\phi_1} + \frac{V \angle 0}{Z_2 \angle -\phi_2} + \frac{V \angle 0}{Z_3 \angle -\phi_3} \\ \therefore \frac{1}{Z \angle -\phi} &= \frac{1}{Z_1 \angle -\phi_1} + \frac{1}{Z_2 \angle -\phi_2} + \frac{1}{Z_3 \angle -\phi_3} \end{aligned} \quad (7.22)$$

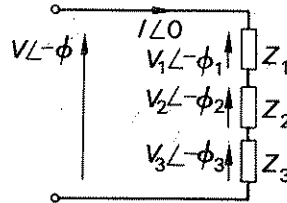
وهذه العلاقة تتقارن مع المقاومات على التوازي مع احتوائها على تعقيد اكثر وهو زاوية الطور ولذلك تعتبر الطريقة القطبية غير مجدية في تحليل الممانعات المتوازية ولكن الطريقة المتبعة في المثال (11-7) أكثر تفصيلاً لأنها أكثر ملائمة وأقل تعرضاً للخطأ .

ان أهم ما في الأمر هو عدم اهمال زوايا طور الممانعات وانه من الخطأ تماماً كتابة

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}$$

ان وصفاً مشابهاً يحدث عند ربط الممانعات على التوالي ، فلنفرض الحالة المبينة في شكل 32-7 باستعمال رموز المركب

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$



شكل 32-7 الممانعات القطبية على التوالي

وباستعمال الرموز القطبية

$$\begin{aligned} V \angle -\phi &= V_1 \angle -\phi_1 + V_2 \angle -\phi_2 + V_3 \angle -\phi_3 \\ I \angle 0 \cdot Z \angle -\phi &= I \angle 0 \cdot Z_1 \angle -\phi_1 + I \angle 0 \cdot Z_2 \angle -\phi_2 + I \angle 0 \cdot Z_3 \angle -\phi_3 \\ Z \angle -\phi &= Z_1 \angle -\phi_1 + Z_2 \angle -\phi_2 + Z_3 \angle -\phi_3 \end{aligned} \quad (7.23)$$

الا انه سبق ان بينا انه في الدائرة على التوالي

$$Z \cos \phi = Z_1 \cos \phi_1 + Z_2 \cos \phi_2 + Z_3 \cos \phi_3$$

$$\text{لذلك } R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (7.23.1)$$

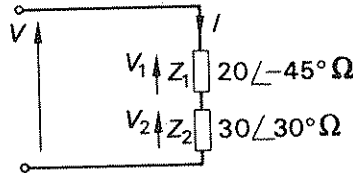
$$\text{وبصورة مشابهة } X = X_1 + X_2 + X_3 \quad (7.23.2)$$

ان العلاقة 23-7 سبق وان استعملت بشكل فعال في المثال (6-7) .
وكما سبق ذكره فانه من غير الصحيح ان نقول ان

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3$$

لذلك يمكننا ان نستنتج ان من المناسب استخدام الرموز القطبية مع الممانعات على التوالي ولكن من غير المناسب استخدامها مع الممانعات على التوازي بنفس الاسلوب حيث من الأفضل استخدام طريقة التحليل لتيارات الفروع في حسابات الدوائر المتوازية .

مثال (12-7) ربطت ممانعتان على التوالي قيمتهما $20 \angle -45^\circ$ أوم و $30 \angle 30^\circ$ أوم
ثم ربطنا عبر مصدر معين فوجد ان التيار الناتج يساوي 10 أمبير . فاذا بقيت فولتية التجهيز دون تغيير :
احسب تيار المصدر عندما تكون الممانعات مربوطة على التوازي .



شكل 33-7 أ

$$R_1 = Z_1 \cos -\phi_1 = 20 \cos -45^\circ = 14.1 \Omega$$

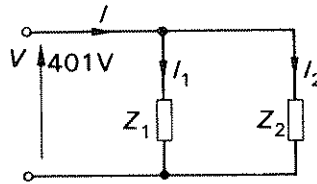
$$X_1 = Z_1 \sin -\phi_1 = 20 \sin -45^\circ = -14.1 \Omega, \text{ i.e. (سعوية)}$$

$$R_2 = Z_2 \cos -\phi_2 = 30 \cos 30^\circ = 26.0 \Omega$$

$$X_2 = Z_2 \sin -\phi_2 = 30 \sin 30^\circ = 15.0 \Omega, \text{ i.e. (حثية)}$$

$$\begin{aligned} Z &= ((R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= ((14.1 + 26.0)^2 + (-14.1 + 15.0)^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= 40.1 \Omega \end{aligned}$$

$$V = IZ = 10 \times 40.1 = 401 \text{ V}$$



شكل 34-7

$$I_1 = \frac{V}{Z_1} = \frac{401}{20} = 20.1 \text{ A}$$

$$\phi_1 = 45^\circ$$

$$I_1 \cos \phi_1 = 20.1 \times 0.707 = 14.2 \text{ A}$$

$$I_1 \sin \phi_1 = 20.1 \times 0.707 = 14.2 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{V}{Z_2} = \frac{401}{30} = 13.4 \text{ A}$$

$$\phi_2 = -30^\circ$$

$$I_2 \cos \phi_2 = 13.4 \times 0.866 = 11.6 \text{ A}$$

$$I_2 \sin \phi_2 = 13.4 \times -0.50 = -6.7 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} I \cos \phi &= I_1 \cos \phi_1 + I_2 \cos \phi_2 \\ &= 14.2 + 11.6 = 25.7 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \sin \phi &= I_1 \sin \phi_1 + I_2 \sin \phi_2 \\ &= 14.2 - 6.7 = 7.5 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= ((I \cos \phi)^2 + (I \sin \phi)^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= (25.7^2 + 7.5^2)^{\frac{1}{2}} \\ &= \underline{\underline{26.8 \text{ A}}} \end{aligned}$$

11-7 المساربات القطبية Polar Admittances

هناك طريقة أخرى لحل دوائر التيار المتناوب باستخدام الرموز القطبية ، وذلك باستخدام المساربات (Admittance) بدلاً من الممانعة . ان المساربات هي مقلوب الممانعة كما عرفت التوصيلية بأنها مقلوب الممانعة .

المساربات الرمز : Y الوحدة : سيمنس (S)

لذلك ففي أي فرع من دائرة متوازنة

$$\frac{V}{Z} = I = VY \quad (7.24)$$

وعند شمول زوايا الطور بهذه العلاقة تصبح

$$I \angle \phi = V \angle 0. Y \angle \phi = \frac{V \angle 0}{Z \angle -\phi}$$

$$Y \angle \phi = \frac{1}{Z \angle -\phi}$$

ان التغيير الناتج باشارة زاوية الطور يجب ملاحظته عند اخذ مقلوب الممانعة ، لذلك فمن العلاقة (7.22)

$$Y \angle \phi = Y_1 \angle \phi_1 + Y_2 \angle \phi_2 + Y_3 \angle \phi_3 \quad (7.25)$$

$$\text{لذلك } \phi = Y_1 \cos \phi_1 + Y_2 \cos \phi_2 + Y_3 \cos \phi_3$$

$$G = G_1 + G_2 + G_3$$

حيث G هي توصيلية الدائرة كما مر سابقاً في تحليل دوائر التيار المستمر والحالة يجب ان تكون كهذه حيث ان التيار والفولتية لهما نفس الطور ويعود ذلك الى مقاومة الدائرة .

$$Y \sin \phi = Y_1 \sin \phi_1 + Y_2 \sin \phi_2 + Y_3 \sin \phi_3 \quad \text{كذلك}$$

$$B = B_1 + B_2 + B_3$$

حيث B تسمى التقبيلية (Susceptance) للدائرة وهي المركبة المتفاعلة للمساربات .

التقبيلية الرمز : B الوحدة : سيمنس (S)

ان القدرة المفقودة في المساربات يمكن اشتقاقها كما يلي

$$\begin{aligned}
P &= VI \cos \phi \\
&= V^2 Y \cos \phi \\
&= V^2 G
\end{aligned}
\tag{7.26}$$

ومن هذا المقدار يمكن ان نجد ان توصيلة الدائرة هي التي تفقد فيها القدرة

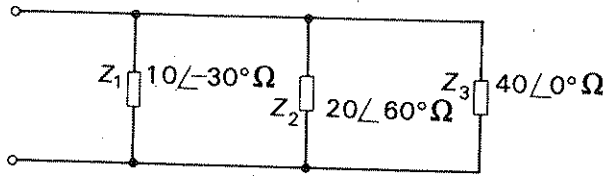
$$\begin{aligned}
P &= V^2 G \\
&= I^2 Z^2 G \\
&= I^2 R \\
G &= \frac{R}{Z^2}
\end{aligned}$$

وبنفس الطريقة

$$B = -\frac{X}{Z^2}$$

ان الاشارة السالبة في هذا المقدار تعود الى التغيير بالاشارة في زاوية الطور الملاحظة اعلاه . وهنا علينا ان نتذكر انه فيما عدا الدوائر التي تحوي مقاومة بحتة ، فان G لا تساوي $(1/R)$.

مثال (13.7) الممانعات $10 \angle -30^\circ \Omega$ و $20 \angle 60^\circ \Omega$ و $40 \angle 0^\circ \Omega$ مربوطة على التوازي ، احسب الممانعة المكافئة .



شكل 35.7

$$Y_1 \angle \phi_1 = \frac{1}{Z_1 \angle -\phi_1} = \frac{1}{10 \angle -30^\circ} = 0.1 \angle 30^\circ \text{ S}$$

$$Y_2 \angle \phi_2 = 0.05 \angle -60^\circ \text{ S}$$

$$Y_3 \angle \phi_3 = 0.025 \angle 0^\circ \text{ S}$$

$$\begin{aligned}
G &= G_1 + G_2 + G_3 \\
&= 0.1 \cos 30^\circ + 0.05 \cos -60^\circ + 0.025 \cos 0^\circ \\
&= 0.087 + 0.025 + 0.025 = 0.137 \text{ S}
\end{aligned}$$

بنفس الطريقة

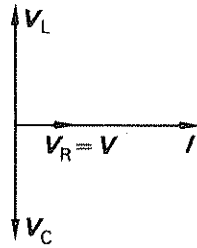
$$\begin{aligned}
B &= B_1 + B_2 + B_3 \\
&= 0.1 \sin 30^\circ + 0.05 \sin -60^\circ + 0.025 \sin 0^\circ \\
&= 0.05 - 0.043 + 0.0 = 0.007 \text{ S} \\
Y &= (G^2 + B^2)^{\frac{1}{2}} = (0.137^2 + 0.007^2)^{\frac{1}{2}} \\
&= 0.137 \text{ S}
\end{aligned}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{B}{G} = \tan^{-1} \frac{0.007}{0.137} = 3^\circ$$

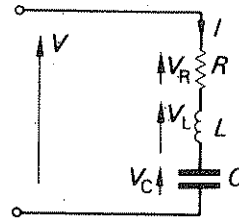
$$Z \angle -\phi = \frac{1}{Y \angle \phi} = \frac{1}{0.137 \angle 3^\circ} = 7.32 \angle -3^\circ \Omega$$

12:7 الرنين Resonance

في تحليل الدوائر المتواليّة ، بصورة عامة مرت بنا حالة لم تناقش ما فيه الكفاية ، الا وهي عندما تتساوى المفاعلة الحثية رقمياً مع المفاعلة السعوية . فعند حدوث ذلك يكون $V_C = V_L$ ومن ثم تكون V و I بنفس الطور مع بعضها . ان هذه الخاصية تسمى بالرنين وفي هذه الحالة يكون الرنين على التوالي نظراً لأن الدائرة مربوطة على التوالي وعندها يقال ان الدائرة ترن (Resonate) .



(ب) المخطط الطوري



(أ) مخطط الدائرة

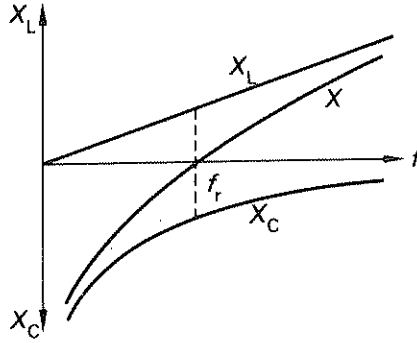
شكل 36:7 دائرة رنين على التوالي

يبين الشكل 36:7 المخطط الطوري لدائرة رنين على التوالي . ان خاصية الرنين تستعمل بكثرة في الشبكات الالكترونية ، ولكن قبل توضيح ظاهرة الرنين من الضروري اكمال التحريات لدائرة التيار المتناوب المتواليّة فيما يتعلق بالممانعات وتساوي هبوط الجهد العائد لها . ان دوائر التيار المتناوب التي نوقشت في هذا الفصل كان فيها التردد للمصدر ثابتاً . الا ان دوائر كثيرة في الشبكات الالكترونية والاتصالات بالاحص تجهز من مصادر تردد متغيرة او من مصادر تجهز عدداً من الترددات . لذلك فانه من صلب الموضوع ان ندرس تأثير تغيير تردد المصدر على دائرة عامة مربوطة على التوالي .

حينما يكون التردد صفرأ أي ان المصدر هو مصدر للتيار المستمر فان $X_L = 2\pi fL = 0$ (لانهاية) .
 وعندما يزداد التردد فان X_L تزداد بتناسب طردي . بينما تنقص $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ عكسياً . وفي وضع الرنين

$$\begin{aligned} V_L &= V_C \\ IX_L &= IX_C \\ X_L &= X_C \end{aligned} \quad (7.27)$$

من منحنى المفاعلة مع التردد المبين في شكل 37-7 نجد ان هذا الشرط يستوفى عندما تكون قيمة $f_R = f$ والتي تدعى بتردد الرنين Resonant Frequency فلداائرة عامة متوالية



شكل 37-7 تغير المفاعلة مع التردد

$$Z = (R^2 + (X_L - X_C)^2)^{\frac{1}{2}}$$

وفي وضع الرنين

$$X_L = X_C$$

$$Z_r = R$$

لذلك (7.28)

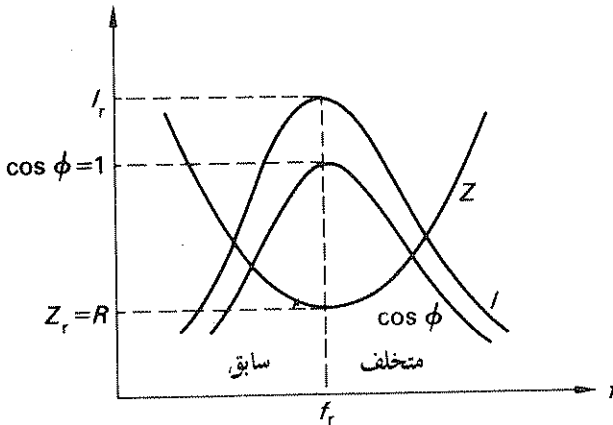
ان نفس الشرط $X_C = X_L$ يمكن الحصول عليه بابقاء التردد ثابتاً مع تغيير مفاعلة من المفاعلات كالسعة مثلاً فإنه يمكن الوصول الى وضع الرنين عندما تستوفى العلاقة (7-27) .
 ان تردد الرنين يمكن ان يربط مع المحاثة والسعة في الدائرة كما يلي

$$\begin{aligned}
X_L &= X_C \\
2\pi f_r L &= \frac{1}{2\pi f_r C} \\
f_r^2 &= \frac{1}{(2\pi)^2 LC} \\
f_r &= \frac{1}{2\pi(LC)^{\frac{1}{2}}} \quad (7.29)
\end{aligned}$$

ان تردد الرنين هذا هو لدائرة متوالية عامة .
فلشرط تساوي مفاعلي المحث والمتسعة . من الضروري ملاحظة ان I, V هما نفس الطور وان ممانعة
الدائرة تكون أقل ما يمكن حينما تساوي المقاومة R . ان تيار الرنين يعتمد على المقاومة وقيمة التيار المعطاة
بالمعادلة

$$I_r = \frac{V}{R}$$

والتي يمكن اعتبارها أكبر من أي قيمة في الترددات الأخرى . وكتيجة لذلك يكون الهبوط بالفولت
عبر مركبات المفاعلة احياناً عدة مرات بقدر فولتية المصدر وذلك يتضح من الشكل 36.7 . هذا بالإضافة
الى ان فقد القدرة في الدائرة يكون أكبر ما يمكن بينما تكون ذروة معدلات خزن الطاقة في المحث
مساوية لقيمها العظمى . وهذا التغيير ينتج من مميزات التيار والممانعة المبينة في شكل 38.7 .



شكل 38.7 مميزات رنين على التوالي

نظراً لأن معدلات تخزين الطاقة في المفاعلات (Reactors) تصل قيم ذروتها . فإنه من الضروري دراسة علاقة هذا النص مع عمل الدائرة حينما يكون عامل القدرة يساوي واحداً . والذي يعني ان الشبكة لا تحتوي على قدرة متفاعلة (Reactive Power) . ان الطاقة المخزونة في المفاعلات تكون ثابتة وتتذبذب (Oscillate) بين وضعي التخزين الكهربائي والمغناطيسي . لذلك تبقى هذه الطاقة متذبذبة (Oscillating) بين المفاعلات تاركة الدائرة تظهر وكأنها مقاومة بحتة .

يقال عن الدائرة أنها في وضع الرنين كلما كان تأثير تذبذب الطاقة متغلباً . ومن الاعتيادي تليل ذلك بأنه يحدث عندما يكون معدل تخزين الطاقة في كل من المفاعلات في ذروته ويساوي $I^2 X$ ويكون على الأقل عشرة مرات بقدر الطاقة المصروفة في دائرة المقاومة . فاذا لم يتحقق هذا الشرط تكون الدائرة عادة دائرة قدرة والتي يكون فيها عامل القدرة قريباً من الواحد .

بالنسبة للمهندس الإلكتروني أو مهندس الاتصالات فإن درجة تغلب تذبذب الطاقة مهم نظراً لأنه كلما كانت نسبة التغلب هذه أفضل كان باستطاعة الدائرة ان تتقبل تياراً (وقدرة) في تردد الرنين اكثر . مع استثناء الترددات الأخرى . وهذا الاختيار (Selection) يستعمل في مستقبلات الراديو والتلفزيون وهو وسيلة للتوليف (Tuning) مثلاً بقبول اذاعة معينة واستثناء بقية المحطات . حيث ان كلاً منها تحوي تردد اذاعي معين .

ان درجة التغلب تقاس بعامل الجودة (Q-factor) .
لذلك

$$Q = \frac{I^2 X_L}{I^2 R} \quad \text{عامل الجودة}$$

$$= \frac{\omega_r L}{R} \quad (7.30)$$

$$\omega_r = \frac{1}{(LC)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{ولكن}$$

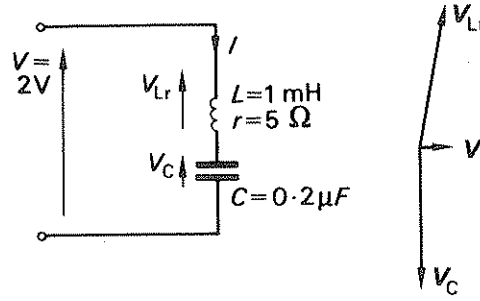
$$Q = \frac{1}{R} \cdot (L)^{\frac{1}{2}} \quad \text{لذلك}$$

$$(7.30.1)$$

مرة أخرى يمكن ملاحظة ان تأثير الرنين يعتمد على مقاومة الدائرة .

مثال (14-7)

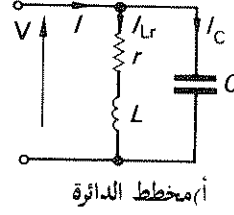
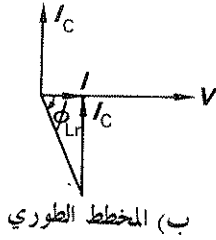
ملف ذو مقاومة 5 أوم ومحاثة 1 ملي هنرى . ربط على التوالي مع متسعة قيمتها 0.2 ميكروفاد . وربطت الدائرة الى مصدر متغير التردد ذي 2 فولت . احسب التردد الذي يحدث فيه الرنين والفولتيات عبر الملف والمتسعة في هذا التردد وعامل الجودة لهذه الدائرة .



شكل 39.7

$$\begin{aligned}
 f_r &= \frac{1}{2\pi(LC)^{\frac{1}{2}}} \\
 &= \frac{1}{2\pi(1 \times 10^{-3} \times 0.2 \times 10^{-6})^{\frac{1}{2}}} \\
 &= 11\,250 \text{ Hz} \\
 &= 11.25 \text{ kHz} \\
 I_r &= \frac{V}{r} = \frac{2}{5} = 0.4 \text{ A} \\
 X_L = X_C &= 2\pi f_r L = 2\pi \times 11\,250 \times 1 \times 10^{-3} = 70.7 \Omega \\
 Z_{Lr} &= (r^2 + X_L^2)^{\frac{1}{2}} = (5^2 + 70.7^2)^{\frac{1}{2}} = 71.0 \Omega \\
 V_{Lr} &= I_r Z_{Lr} = 0.4 \times 71.0 = 28.4 \text{ V} \\
 V_C &= I_r X_C = 0.4 \times 70.7 = 28.3 \text{ V} \\
 Q &= \frac{\omega_r L}{r} = \frac{70.7}{5} = 14.1
 \end{aligned}$$

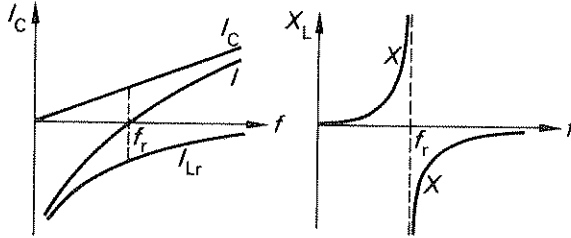
يمكن ان يحدث الرنين في أي دائرة تحتوي محاثة وسعة كافيتين . لذلك فمن المعقول ان نفترض دوائر متوازية اضافة الى دوائر متوالية . ان أكثر الدوائر المتوازية شيوعاً هي الملف ذي مقاومة داخلية مربوط على التوازي مع متسعة كما مبين في شكل 40.7 . ان التيار I_r في فرع المتسعة يسبق الفولتية V بـ 90° ، بينما يتخلف تيار الملف I_{Lr} بزاوية مقدارها ϕ_{Lr} والتي تكون أقل من 90° معتمدة على نسبة المقاومة الى المفاعلة الحثية . من المخطط الطوري (شكل 40.7 ب) يمكن ان نرى ان الرنين يحدث عندما :



شكل 40-7 دائرة رنين على التوازي

$$I_C = I_{Lr} \sin \phi_{Lr} \quad (7.31)$$

وهذا يسمى برنين التوازي (Parallel Resonance) والرنين هنا يمكن ان يتم بتعبير المكونات أو التردد . وفي الحالة الاخيرة حينما يكون التردد صفراً والذي يعني ان المصدر هو للتيار المستمر ، تكون مفاعلة الملف $X_L = 2\pi fL = \infty$ صفر . ولذلك فان المقاومة r فقط هي التي تحدد التيار . اما فرع المتسعة $X_C = 2\pi fC = 0$ فلا يمرر أي تيار . ان الزيادة في التردد تزيد من مفاعلة الملف ومن ثم تزداد ممانعة الملف ، لذلك فان تيار الملف I_{Lr} ينقص ويتخلف عن الفولتية V بزاوية تزداد باطراد .



شكل 41-7 تغير التيار والمغلق مع التردد

ان تيار فرع المتسعة من ناحية أخرى يزداد بالرغم من أنه يسبق 90° على الدوام . وفي تردد ما يكون $I_C = I_{Lr} \sin \phi_{Lr}$. وعند ذلك يحدث الرنين . ان تغيير التيار مع التردد مبين في شكل 41-7 ويمكن مقارنته مع منحني المفاعلة المبين في شكل 37-7 . من المخطط الطوري

$$I_C = I_{Lr} \sin \phi_{Lr}$$

$$\frac{V}{X_C} = \frac{V}{(r^2 + X_L^2)^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{X_L}{(r^2 + X_L^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$2\pi f_r C = \frac{2\pi f_r L}{r^2 + (2\pi f_r L)^2}$$

$$r^2 + (2\pi f_r L)^2 = \frac{L}{C} \quad (7.32)$$

$$(2\pi f_r L)^2 = \frac{L}{C} - r^2$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi L} \left(\frac{L}{C} - r^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{LC} - \frac{r^2}{L^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7.32.1)$$

وهذا هو تردد الرنين للدائرة عامة على التوازي . واذا كانت r صغيرة فان :

$$f_r = \frac{1}{2\pi(LC)^{\frac{1}{2}}} \quad (7.32.2)$$

والذي هو نفس الحل للدائرة عامة على التوالي .

كذلك فان

$$I = I_{Lr} \cos \phi_{Lr}$$

$$\frac{V}{Z_r} = \frac{V}{(r^2 + X_L^2)^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{r}{(r^2 + X_L^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{1}{Z_r} = \frac{r}{r^2 + (2\pi f_r L)^2}$$

$$Z_r = \frac{r^2 + (2\pi f_r L)^2}{r}$$

من العلاقة (7.32) :

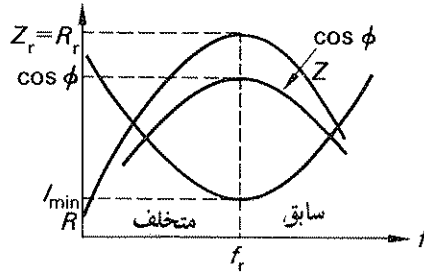
$$\frac{L}{C} = r^2 + (2\pi f_r L)^2$$

$$Z_r = \frac{L}{Cr} \quad (7.33)$$

مرة أخرى نجد من المفيد ان نلاحظ كيف ان الدائرة تستجيب لتغيير التردد لقيم معينة من المحاثة والسعة . فعند الرنين يكون V و I بنفس الطور وتكون الممانعة في قيمتها العليا مساوية للمقاومة الفعالة R_r . لذلك فان اصغر قيمة للتيار تساوي

$$I_r = \frac{VC}{L}$$

ونحصل على الحالة المتالية عندما تساوي r صفراً وعندها يساوي التيار صفراً أيضاً . وحتى في هذه الحالة يكون هناك سريان للتيار حول الدائرة متنسباً من الملف والمتسعة . وهذا يعود الى انتقال الطاقة من المحث الى المتسعة وبالعكس . الا ان مقاومة الدائرة يجب ان تكون موجودة ، حيث انها تمنع استمرار انتقال الطاقة بدون فقد . لذلك فمن الضروري سحب تيار ما من المصدر للتعويض عن هذا الفقد ، وحتى في هذه الحالة عندما يكون التيار المسحوب من المصدر صغيراً ، فان التيارات في الفروع يجب ان تكون أكبر من تيار المصدر بكثير . اما في الترددات الأخرى فان مثل هذا الوضع لا يحدث ، حيث يكون تيار المصدر اكبر كما ان الممانعة وعامل القدرة ينقصان كما موضح في الشكل 42.7 نظراً لأن الدائرة ترفض التيار عند الرنين وتدعى بدائرة رفض (Rejector Circuit)



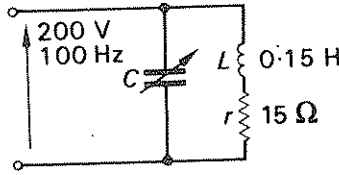
شكل 42:7 مميزات دائرة رنين على التوازي

وأخيراً فان عامل الجوده للشبكة يمكن اشتقاقه من معدل ذروة لخرن الطاقة ، لذلك يكون عامل الجوده

$$Q = \frac{I_{Lr}^2 X_L}{I_{Lr}^2 r} = \frac{\omega_r L}{r}$$

كما سبق

- مثال (15.7) ملف مقاومته 1 كيلو اوم ومحاثته 0.15 هنري ، ربط على التوازي مع متسعة متغيرة عبر مصدر تجهيز ذي 2 فولت و 10 كيلوهرتز . احسب
- سعة المتسعة عندما يكون تيار المصدر أقل ما يمكن .
 - الممانعة الفعالة للشبكة
 - تيار المصدر



شكل 43.7

ان تيار مصدر الشبكة يكون أقل مايمكن حينما تكون الشبكة في وضع الرنين .

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{LC} - \frac{r^2}{L^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{1}{LC} = 4\pi^2 f_r^2 + \frac{r^2}{L^2}$$

$$= 4\pi^2 \times 10^2 \times 10^6 + \frac{1000^2}{0.15^2}$$

$$= 3960 \times 10^6$$

$$C = \frac{10^6}{3960L} = 1.69 \times 10^{-9} \text{ F}$$

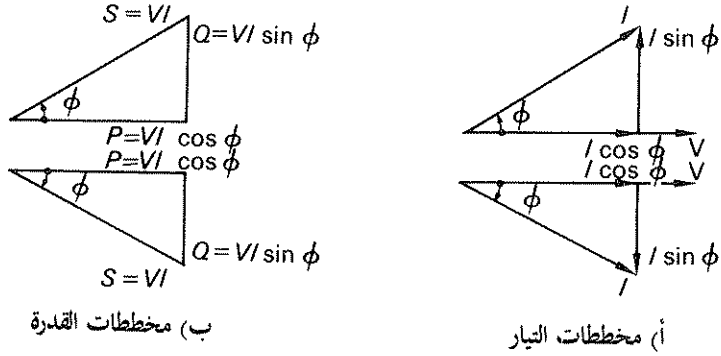
$$= 1.69 \text{ nF}$$

$$Z_r = \frac{L}{Cr} = \frac{0.15}{19 \times 10^{-9} \times 1000} = 890 \times 10^3 \Omega = 890 \text{ k}\Omega$$

$$I_r = \frac{V}{Z_r} = \frac{2}{890 \times 10^3} = 2.25 \times 10^{-6} \text{ A} = 2.25 \mu\text{A}$$

13.7 مخططات القدرة (Power Diagrams)

لنرجع مرة أخرى الى حمل مجهز من فولتية V يأخذ تياراً مقداره I بعامل قدرة $\cos \Phi$. ان المخطط الطوري لهذا الحمل مبين في شكل 44-7 أ ، كما يمكن رسم مخططات مشابهة بمقاييس رسم مختلفة . اذا ضرب كل ضلع بعامل مقداره V فانه يمكن بعد ذلك تبيان ان احد الاضلاع يمثل القدرة الظاهرية S . باستعمال العلاقة (7-16) $S = VI$ ، كما يمثل الضلع الاخر القدرة الحقيقية المفقودة في الدائرة وفق العلاقة (7-15) $P = VI \cos \Phi$. اما الضلع الثالث فيمثل القدرة المتفاعلة (Reactive Power) في الدائرة .



شكل 44.7 التيار الذي يعود الى مخططات القدرة

القدرة المتفاعلة الرمز: Q | الوحدة: فولت امبير متفاعل او فار var

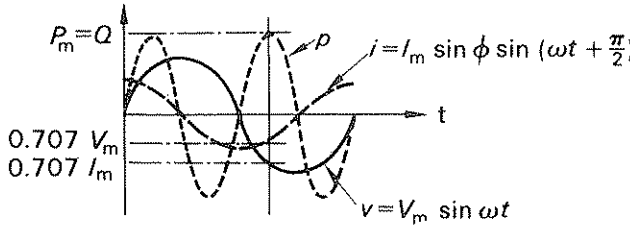
$$Q = VI \sin \phi \tag{7.34}$$

كما يجب ان يلاحظ انه : بينما تمثل P معدل القدرة الحقيقية في الدائرة فان Q تمثل ذروة القدرة المتفاعلة في الدائرة أي ذروة معدل خزن الطاقة . ويمكن ملاحظة ذلك من مخطط الموجة المبين في شكل 45.7 والمرسوم كحالة عامل قدرة سابق .

ان قيمة ج. م. ت. للفلوتية V تساوي $0.707 V_{rms}$ بينما تكون قيمة ج. م. ت. للتيار I تساوي $0.707 I_{rms}$ ، ومن الشكل يمكن ان نرى ان هذه القيم تعود الى ذروة موجة القدرة المتفاعلة كما يجب ملاحظة ان قيمة المعدل الموجة القدرة المتفاعلة تساوي صفراً .

يمكن تطبيق المخطط المركب المبين في شكل 44.7 لغرض ايجاد محصلة الحمل الفعالة لمجموعة من الاحمال مربوطة على التوازي أي الحمل الفعال لأجهزة مختلفة مربوطة في معمل مثلاً . ان هذه المسألة يمكن حلها بجمع تيارات الاحمال المختلفة بشكل مركب ، الا انه من الاسهل تطبيق مخطط القدرة للحمل (Load Power Diagram)

ان القدرة الحقيقية ومركبة القدرة المتفاعلة يمكن جمعها برسم مخطط مركب بمقياس رسم مناسب كما يمكن استخدام طريقة تحليلية كما مبين ادناه .



شكل 45.7 اشكال موجات القدرة المتفاعل

لنفرض ثلاثة احمال مثلاً مجهزة بفولتية V تسحب تيارات I_3, I_2, I_1 بعوامل قدرة $\cos \Phi_2, \cos \Phi_1, \cos \Phi_3$ على التوالي .

$$I \cos \phi = I_1 \cos \phi_1 + I_2 \cos \phi_2 + I_3 \cos \phi_3$$

$$I \sin \phi = I_1 \sin \phi_1 + I_2 \sin \phi_2 + I_3 \sin \phi_3$$

$$I = ((I \cos \phi)^2 + (I \sin \phi)^2)^{\frac{1}{2}}$$

إذا ضربت المعادلات الثلاثة اعلاه بالفولتية V

$$VI \cos \phi = VI_1 \cos \phi_1 + VI_2 \cos \phi_2 + VI_3 \cos \phi_3$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

$$VI \sin \phi = VI_1 \sin \phi_1 + VI_2 \sin \phi_2 + VI_3 \sin \phi_3$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$S = (P^2 + Q^2)^{\frac{1}{2}} \quad (7.35)$$

لذلك فان التحليل يأخذ نفس الشكل لتيارات الدائرة على التوازي ، ومن العلاقات الهندسية للمخطط في شكل 44.7

$$\phi = \tan^{-1} \frac{Q}{P} = \cos^{-1} \frac{P}{S} \quad (7.35.1)$$

وأخيراً يمكن ملاحظة ان احمالاً كبيرة القيمة يكون من غير المناسب قياسها بالواط والفار والفولت امبير لذلك فان كثيراً من مخططات القدرة تقاس بالكيلوواط والكيلوفار والكيلوفولت امبير .

$$\begin{aligned}
Q_A &= S_A \sin \phi_A = 150 \times 10^3 \times -0.707 = -106.1 \times 10^3 \text{ var} = -106.1 \text{ kvar} \\
Q_B &= P_B \tan \phi_B = 100 \times 10^3 \times 0 = 0 \text{ var} = 0.0 \text{ kvar} \\
Q_C &= S_C \sin \phi_C = 75 \times 10^3 \times -0.6 = 45.0 \times 10^3 \text{ var} = -45.0 \text{ kvar} \\
Q_D &= P_D \tan \phi_D = 50 \times 10^3 \times 1.33 = 66.7 \times 10^3 \text{ var} = 66.7 \text{ kvar} \\
Q &= -84.4 \text{ kvar}
\end{aligned}$$

$$S = (P^2 + Q^2)^{\frac{1}{2}} = (316.1^2 + 84.4^2)^{\frac{1}{2}} \times 10^3$$

$$= 328 \times 10^3 \text{ VA}$$

$$= 328 \text{ kVA}$$

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{316.1 \times 10^3}{328 \times 10^3} = 0.964 \text{ يتخلف}$$

(14.7) تحسين عامل القدرة

مرربنا سابقاً أن الغرض من امرار تيار حول دائرة ما هو نقل الطاقة من نقطة الى اخرى . وكنتيجة لذلك فان تأكيذاً قد تم على مركبة القدرة الحقيقية من القدرة الظاهرية . كما سبق ان بينا انه كلما انخفض عامل القدرة فان تياراً اكبر يلزم لتجهيز نفس الكمية من القدرة . قد يظهر ان ذلك ليس مهماً الا انه علينا ان نتذكر ان منظومة الموصلات للدوائر لا بد وأن تحوي مقاومة ما . ان القابلات بالحقيقة يحدد تحملها بمقدار التيار الذي تحمله دون ان تزيد درجة حرارتها عن الحد المناسب للعازل . ان زيادة درجة الحرارة ناتجة عن الخسارة الحرارية في الموصل I^2R بسبب وجود المقاومة .

ومن الناحية الاقتصادية ينتج ان عامل القدرة ذو علاقة بحجم القابلو المطلوب . فاذا كان عامل القدرة ضعيفاً فان التيار يكون اعلى من القيمة الصغرى المطلوبة (اي عندما يكون عامل القدرة مساوياً للواحد) . كما ينتج من ذلك انه كلما زاد حجم القابلو ازداد سعره . ولغرض تحديد حجم القابلو بأقل ما يمكن نرى من الضروري تحسين او تصحيح عامل القدرة .

هناك سبب اخر يدعو لتحسين عامل القدرة في تنظيم الفولتية . ان تنظيم الفولتية (Voltage Regulation) في الدائرة هو التغيير في الفولتية بين وضعي عدم الحمل ووضع التحميل . يعود الفرق بين هذين الطرفين الى هبوط الفولت الناتج من التيار المسلط على ممانعة منظومة الموصلات وهذا الهبوط بالفولت غير مرغوب فيه . فمثلاً يتسبب في تقليص الاضاءة بشكل ملحوظ عند وجود هبوط بالفولت . وبصورة عامة كلما قل التيار قل هبوط الفولت لكي يبر تصحيح عامل القدرة . وفي هذا المجال فان الحدود المتعارف عليها $\pm 6.5\%$. ان درجة تحسين عامل القدرة ينظم بعاملين أولهما هو الاقتصاد بكلفة القابلو والثاني هو فقد التشغيل I^2R والتي تعوض عن كلفة اجهزة تحسين عامل القدرة لذلك فان هناك نقطة توازن يحدث فيها افضل ما يمكن من توفير . كما تجدر الاشارة الى ان هناك طرقاً صناعية متعددة لاحتساب اجور الطاقة الكهربائية والتي تغرم المستهلك عندما يكون عامل قدرته منخفضاً .

وذلك يختلف من قطر لآخر ففي انكلترا يحدد عامل القدرة بقيمة بين 0.8 - 0.95 وعندها لا يفرض اية غرامة اما المستهلك الاسكتلندي فعليه ان يكون عامل قدرته مساوٍ للواحد .
ان تحسين عامل القدرة يمكن الحصول عليه بطريقتين اساسيتين :

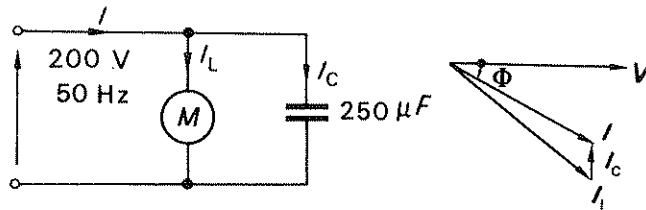
المتسعات الستاتيكية Static Capacitors

وهذه تستعمل لتحسين عامل القدرة لاجهزة مجاورة لها . كما انها تكون خالية من الفقد . الا انها غير قابلة للتغيير . كما تسبب عند استعمالها في الاحمال القليلة ما يسمى محاولة فوق التعويض (Over Compensation) بالرغم من انها ليست حالة مهمة نظراً لأن معظم الاحمال تكون متخلفة الطور .

استخدام المحركات التزامنية Synchronous Motors

يمكن صنع هذه المحركات لكي تعمل على عامل قدرة سابق ، ولذلك يمكنها التعويض عن الاحمال المختلفة الموجودة في الشبكة اما صعوبات هذه المكائن فتكون في بدء تشغيلها وقد امكن الان التغلب عليه بسهولة وهذه المحركات لها بعض المساوىء حيث انها مكائن سرعتها ثابتة .
واخيراً يجب ملاحظة انه بالرغم من ان اجهزة تصحيح عامل القدرة تغير من القدرة المتفاعلة فانها لا تغير من قيمة القدرة المسحوبة من قبل الحمل .

مثال 17-7 محرك يعمل على 200 فولت و 50 هرتز . حملٌ لكي يعطي قدرة اخراج 11.2 كيلوواط ويعمل بكفاءة مقدارها 0.8() وعامل قدرته متخلف مقداره 0.75 احسب التخفيض في التيار المسحوب من المصدر ومحصله عامل القدرة الكلي الناتجة عند ربط متسعة قيمتها 250 ميكروفراد على التوازي مع المحرك .
اذا غذى المحرك بالطاقة بواسطة قابلو مقاومته 0.05 أوم احسب فقد القدرة في القابلو قبل وبعد ربط المتسعة بالدائرة



شكل 47-7

$$P = 11200 \text{ W}$$

$$I_L = \frac{P}{V \cos \phi_L} = \frac{11200}{200 \times 0.75} = 74.5 \text{ A}$$

$$I_C = 2\pi fCV = 2\pi \times 50 \times 250 \times 10^{-6} \times 200 = 15.8 \text{ A}$$

$$I \cos \phi = I_L \cos \phi_L + I_C \cos \phi_C = 74.5 \times 0.75 + 15.8 \times 0 \\ = 55.8 \text{ A}$$

$$I \sin \phi = I_L \sin \phi_L + I_C \sin \phi_C = 74.5 \times -0.66 + 15.8 \times 1.0 \\ = -33.5 \text{ A}$$

$$I = ((I \cos \phi)^2 + (I \sin \phi)^2)^{\frac{1}{2}} = (55.8^2 + 33.5^2)^{\frac{1}{2}} \\ = 65.0 \text{ A}$$

$$= 74.5 - 65.0 = 9.5 \text{ A}$$

التغيير في التيار

$$\cos \phi = \frac{I \cos \phi}{I} = \frac{55.8}{65.0} = 0.858$$

$$= I_L^2 R = 74.5^2 \times 0.05 = 278 \text{ W}$$

الفقد الأولي للقدرة

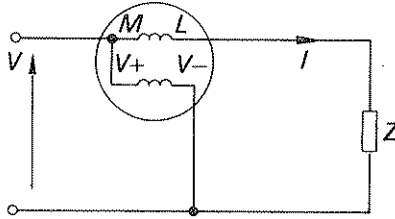
$$= I^2 R = 65.0^2 \times 0.05 = 212 \text{ W}$$

الفقد النهائي للقدرة

15-7 قياس القدرة

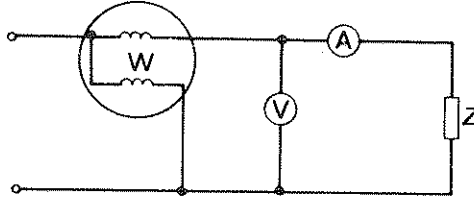
لقد فرضنا في هذا الفصل انه يمكن قياس القدرة دون توضيح كيفية حدوث ذلك . ان القدرة يمكن قياسها بواسطة الواطميتر . ورغم وجود طرق اخرى لقياسها فان الواطميتر هو اهمها على الاطلاق . لذلك سنهتم به فقط . ان تركيب الواطميتر ومبادئ عمله مشروحة في الفقرة 10-17 . وسنعالج في هذا الفصل كيفية استخدام الواطميتر في دائرة التيار المتناوب . ان القدرة في دائرة ما تعتمد على الفولتية والتيار . لذلك فان هذه الكميات هي الكميات التي يجب ان تجهز الى المقياس . ويوضح الشكل 48-7 كيفية ربط الدائرة .

ياخذ الواطميتر فرق الطور بين الفولتية والتيار بشكل تلقائي . ولذلك فهو يؤشر بمقدار القدرة المناسبة للفولتية المسلطة والتيار . ان نهايات الواطميتر يؤشر عليها احيانا بحروف مختلفة ويوضح الشكل 48-7 احد الاصطلاحات المستعملة بهذا الصدد . حيث ترمز V_1 الى المصدر و L الى الحمل فاذا ما عكس أي من الربطين فان الواطميتر يقرأ قراءة سالبة . ويمكن ان يعطى نتيجة لذلك . اذا ربط اميتر وفولتميتر مع الواطميتر فيمكن بواسطة ذلك قياس القدرة الحقيقية والقدرة الظاهرية وعامل القدرة من هذه القراءات وهذا موضح في المثال (18-7) .



شكل 48.7 ربط واطميتر نموذجي

مثال (18.7) فولتميتر وأميتر وواطميتر مربوطة في دائرة لغرض إيجاد عامل القدرة فإذا كانت قراءة الأميتر 10 أمبير . والواطميتر 1800 واط ، والفولتميتر 240 فولت . احسب عامل القدرة ..



شكل 49.7

$$S = VI = 240 \times 10 = 2400 \text{ VA}$$

$$\cos \phi = \frac{P}{S} = \frac{1800}{2400} = 0.75$$

من المعلومات المتوفرة فإنه لا يمكن معرفة ما إذا كان عامل القدرة سابقاً أو متخلفاً .

16.7 افتراض شكل موجه جيبى

في الفقرة 0.7 اوضحنا ان الموجة جيبية الشكل هي موضوع هذا الفصل وان النظريات السابقة تعتمد على صحة هذه الفرضية . ولقد بينا ان الممانعة تحتوي على مقاومة ومخاتة وسعة . ولهذا الغرض سنأخذ كل منها على حده :

ففي حالة المقاومة تكون العلاقة (7-1) هي $iR = v$. وقد فرضنا بعد ذلك ان المقاومة R تبقى ثابتة بغض النظر عن الفولتية المسلطة عليها . ان ذلك صحيح لحد كبير لمعظم المواد بالرغم من وجود بعض الشواذ الا أنه للدوائر الاعتيادية التي لاتتخضع لتغيرات جذرية في الظروف ولا تحتوي على أي موصلات خاصة فان فرضية العلاقة الجيبية تكون مقبولة .

ان عنصر الدائرة الذي يكون خصومه للعلاقات الجيبية بين الفولتية والتيار كثير الاحتمال هو المخاتة . فاذا كانت المخاتة ناتجة من وصلبات التدفق في الهواء . فان الفولتية والتيار يكونان جيبيان . الا ان الاحتمال الاغلب يكون في حالة مرور وصلبات التدفق خلال مادة مغناطيسية حديدية . فيسبب المميزات B-H فان الوصلبات لا تتناسب مع ق. د. غ. ولذلك فان الق. د. ل. المعارضة لا تتناسب مع التيار الجيبى . ولكن

إذا أخذنا الجزء المستقيم من مميزات الـ B-H فقط فإن نسبة الاختلاف تكون قليلة . ان تأثير اهمال هذه المحددات ستناقش في الفقرة 1-8 . بالرغم من ان هناك تأثيراً قليلاً من الخطأ الناتج من المحاطة في دائرة ما فإن الطبيعة غير الجيبية الناتجة للتيار يمكن ان تؤثر على أي قياسات تجرى بواسطة الاميتر . ويتبين ذلك بوضوح عند رسم منحنى المركبات بمقياس معين ، حيث يمكن ان تظهر زاوية الطور أكثر من 90° !

وأخيراً هناك حالة السعة والتي تعطي علاقات بين التيار والفولتية ادق من الحالات السابقة . لذلك نجد ان نظرية التيار المتناوب الموضحة في هذا الفصل تنطبق بشكل معقول عند استخدامها في اكثر الدوائر . وفي معظم الحالات التي يظهر هناك اخطاء في النظرية فان ذلك يعود الى عدم التناسب بين الفولتية والتيار في المحاطة .

مسائل على دوائر التيار المتناوب ذات الطور الواحد

1. بحث قيمته 15 ملي هنرى ربط الى مصدر 50 هرتز. احسب . المفاعلة الحثية للملف

$$4.71 \Omega$$

2. اكمل الجدول التالي

المحاثة (H)	0.04	0.12	0.008
التردد (هرتز)	50	50	60
المفاعلة (Ω)	50	36	4.5

3. مفاعل يسمح بمرور 15 أمبير من مصدر قيمته 240 فولت وتردده 50 هرتز. اوجد التيار الذي يمر بنفس الفولتية عند تغير التردد الى :

أ- 45 هرتز

ب- 55 هرتز

$$16.7 \text{ A}, 13.6 \text{ A}$$

4. ملف مصنوع من سلك مقاومته 8 أوم ومحاثته 40 ملي هنرى . ربط الى مصدر للتيار المتناوب ذو 100 فولت و 50 هرتز، احسب التيار الناتج .

$$6.71 \text{ A}$$

5. مقاوم قيمته 200 أوم ربط على التوالي مع محث قيمته 0.8 هنرى عبر مصدر للتيار المتناوب ذي 240 فولت و 50 هرتز احسب :

أ- تيار الدائرة

ب- القدرة في المقاوم

$$0.75 \text{ A}, 111 \text{ W}$$

6. مصباح ذو 100 فولت و 60 واط ربط الى مصدر تردده يساوي 50 هرتز وفولتيته 220

فولت . اوجد قيم ما يلي :

أ- المقاومة غير الحثية

ب- المحاثة البحتة

اللازمتين لكي لا يحترق المصباح

أيهما تفضل ؟

$$166.7 \Omega, 1.038 \text{ H}$$

7. دائرة حثية تسحب تياراً مقداره 10 أمبير من مصدر 50 هرتز وفولتية 200 فولت وكان التيار يلحق الفولتية بـ 30° . احسب مقاومة ومفاعلة ومحاثة الدائرة .
ارسم موجات فرق الجهد والتيار والقدرة مبيناً العلاقة الطورية بينها .

10·0 Ω, 17·3 Ω, 31·8 mH

8. مقاوم قيمته 10 أوم ربط على التوالي مع متسعة قيمتها 400 ميكروفراد الى مصدر للتيار المتناوب مقداره 60 فولت جيبي الموجه . فكان تيار الدائرة يساوي 5 أمبير . احسب تردد المصدر وفرق الطور بين التيار والفولتية . ثم ارسم المخطط الطوري بمقياس مناسب .

60 Hz, $33\cdot6^\circ$

9. اوجد محاثة الملف (مهماً مقاومته) الذي عندما يربط على التوالي مع مقاومة غير حثية قيمتها 100 أوم يقل التيار الى نصف القيمة السابقة . علماً بان تردد المصدر يساوي 50 هرتز .

551 mH

10. متسعة قيمتها 80 ميكروفراد تسحب تياراً قيمته 1 أمبير عندما يكون فرق الجهد بين طرفيها 250 فولت . احسب
أ- تردد المصدر

ب- المقاومة اللازم ربطها على التوالي مع المتسعة لتقليل التيار الى 5 أمبير بنفس التردد

7·95 Hz, 433 Ω

11. ملف مربوط على التوالي مع مقاومة غير حثية قيمتها 30 اوم عبر مصدر قيمته 240 فولت وتردده 50 هرتز . وجد ان قراءة الفولتمتر عبر الملف تساوي 180 فولت . وعبر المقاومة 130 فولت . احسب القدرة المفقودة في الملف .

138 W

12. سلطت فولتية $V = 340 \sin \omega t$ على دائرة فكان التيار الناتج $i = 14\cdot14 \sin (\omega t - \pi/6)$ ارسم شكل الموجتين مبيناً العلاقة الطورية الصحيحة . ثم ارسم مخطط الطور بمقياس رسم مناسب . ثم احسب الممانعة والمفاعلة للدائرة والقدرة المجهزة لها .

24·0 Ω, 20·8 Ω, 12·0 Ω, 2 085 W

13 · ملف ذولب حديدي . ربط الى مصدر ذي 100 فولت و 50 هرتز فوجد انه يسحب تياراً مقداره 5 أمبير ويصرف قدرة قيمتها 200 واط . اوجد :

- أ- الممانعة
- ب- المقاومة الفعالة
- ج- المحاطة
- د- عامل قدرة الدائرة

بتخلف $20.0 \Omega, 8.0 \Omega, 57.3 \text{ mH}, 0.4$

14 · دائرة ذات طور واحد تسحب قدرة قيمتها 4.2 كيلواط بعامل قدره متخلف قيمته 0.6 اوجد قيمة القدرة الظاهرية الداخلة وذروة القدرة المتفاعلة .

7.0 kVA, 5.6 kvar

15 · تيار متناوب يمر خلال دائرة حثية تحتوي على مركبة فعالة قيمتها 7.2 أمبير . ومركبة متفاعلة قيمتها 5.4 أمبير وكانت فولتية المصدر 200 فولت ، اوجد :

- أ- قيمة تيار المصدر .
- ب- عامل القدرة .
- ج- القدرة المفقودة .

9.0 A, 0.8 lag, 1.44 kW

16 · متسعة ذات مقاومة مهمة ربطت الى مصدر جيبي ذي 220 فولت متغير التردد فوجد انها تسحب تياراً قيمته 10 أمبير بتردد 50 هرتز . وعند ربط مقاوم غير حثي الى نفس المصدر وجد

ان التيار يساوي 12 أمبير . فاذا ربط الاثنان على التوالي عبر المصدر احسب :

أ- التيار المسحوب وزاوية الطور حينما يكون تردد المصدر 50 هرتز .

ب- تردد المصدر حينما يكون تيار الدائرة 8 أمبير .

$7.7 \angle 39.5^\circ \text{ A}, 54.6 \text{ Hz}$

17 · حلقة خشبية معدل قطرها 250 ملم . لف عليها سلك مساحة مقطعه العرضي 2 ملم² وعدد لفاته 1000 لفة وكان متوسط طول اللفة الواحدة 60 ملم ومساحة المقطع العرضي الفعال

تساوي 1000 ملم² . احسب

أ- محاطة الملف .

- ب- مقاومة الملف اذا كانت موصلية السلك تساوي 59 ميكا سيمنس لكل متر .
ج- تيار الملف اذا ربط الى مصدر للتيار المتناوب ذي 20 فولت و 50 هرتر

$$1.6 \text{ mH}, 1.02 \Omega, 17.8 \text{ A}$$

18. حمل يحتوي مقاوم ومتسعة مربوطان على التوالي ممانعته 50 أوم وعامل قدرته 0.707 سابق .
ربط الحمل على التوالي مع مقاوم قيمته 40 أوم عبر مصدر للتيار المتناوب فكان التيار الناتج يساوي 3 أمبير . احسب فولتية المصدر وزاوية الطور الكلية .

$$250 \text{ V}, 26^\circ$$

19. ملف خانق « choking coil » ذوب حديدي مقاومته 4 أوم حينما قيست باستعمال تيار مستمر . وعند ربطه بمصدر تيار متناوب ذي 240 فولت و 50 هرتر صرفت قدرة مقدارها 500 واط بتيار قيمته 10 أمبير . احسب فقد اللب وعامل القدرة والمحاثة والممانعة ومفاعلة الملف .

$$100 \text{ W}, 24 \Omega, 0.21 \text{ lag}, 23.5 \Omega, 75 \text{ mH}$$

20. دائرة تعمل بعامل قدرة قيمته 0.8 متخلف . تسحب تياراً قيمته 10 أمبير من مصدر جيبى ذي 250 فولت وتردده 50 هرتر . اوجد :
أ- القيم الآتية للتيار والفولتية بصيغة معادلة .
ب- احسب قيمة التيار بعد 5 ملي ثانية من وصول الفولتية الى قيمتها العظمى الموجبة .
ج- في أي وقت بعد قيمة الصفر باتجاه السالب يصل التيار قيمة آتية قيمتها 10 أمبير لأول مرة ؟

$$14.14 \sin(\omega t - 37^\circ) \text{ A}, 325 \sin \omega t, 8.32 \text{ A}, 2.5 \text{ ms}$$

21. عرف المحاثة وبرهن ان الفولتية الجيبية عبر المحث تسبق التيار بزاوية مقدارها 90° . دائرة على التوالي تحتوي على مقاوم قيمته 12 أوم ومحث 0.15 هنري ومتسعة قيمتها 100 ميكروفراد . ربطت عبر مصدر جيبى متغير التردد ذي 100 فولت . بين بالرسم تأثير تغير التردد على كل من المقاومة والمفاعلة الحثية والمفاعلة السعوية والممانعة . اوجد التردد الذي تصحح الدائرة فيه مقاوما غير حثي . ثم اوجد قيم Z . X_c . X_L . R في هذا التردد . ثم علق على التيار المسحوب من المصدر والفولتية عبر مركبات الدائرة .

$$41 \text{ Hz}, 12 \Omega, 38.8 \Omega, 38.8 \Omega, 12 \Omega$$

◦ كالمستخدم في مصباح الفلورسنت الاعتيادي

(المترجمان)

22. مقاوم قيمته 10 أوم . ربط على التوازي مع متسعة قيمتها 318 ميكروفراد . سلطت فولتية على الدائرة من مصدر قيمته 100 فولت . اوجد التيار المجهز الى هذه الدائرة وكذلك عامل القدرة اذا كان تردد المصدر 50 هرتز .

يسبق 14-14 A, 0-71

23. مقاوم قيمته 10 أوم ربط على التوازي مع محث قيمته 31.8 ملي هنري الى مصدر ذي 200 فولت و 50 هرتز . اوجد تيار المصدر وعامل قدرته

يتخلف 28-28 A, 0-71

24. مقاوم قيمته 10 أوم ومحث قيمته 31.8 ملي هنري ومتسعة قيمتها 318 ميكروفراد . ربطوا على التوازي عبر مصدر ذي 200 فولت و 50 هرتز . احسب تيار المصدر وعامل القدرة ثم احسب التيار في كل فرع .

20 A, 1-0, 20 A, 20 A, 20 A

25. مقاوم قيمته 10 أوم ومحث قيمته 15.9 ملي هنري ومتسعة قيمتها 159 ميكروفراد . ربطوا على التوازي الى مصدر قيمته 200 فولت وتردده 50 هرتز . احسب تيار المصدر وعامل القدرة .

يتخلف 36 A, 0-56

26. امكن الحصول على البيانات التالية من تجربتين على ملفين ربطا بصورة منفردة الى مصدر ذي 240 فولت و 50 هرتز .

الملف أ 5A 600 W

الملف ب 10 A 1500 W

اوجد الممانعة والمقاومة والمحاثة لكل ملف والتيار المسحوب من المصدر وعامل القدرة لدائرة ربط فيها الملفان على التوازي عبر المصدر المشار اليه .
ما قيمة المتسعة التي يجب ان تربط عبر طرفي المصدر ليكون عامل القدرة مساوياً للواحد .

24 Ω, 41.6 Ω, 0.132 H, 15 Ω, 18.6 Ω, 0.059 H, 14.8 A, 0.6 lag, 161 μF

27. يعمل مكبح (Brake) لمحرك تيار متناوب بواسطة زر تلامس لولبي . فيه قطعة حديدية داخل الملفات التي مقاومتها 20 أوم . عند تشغيله من مصدر جيبى للتيار المتناوب ذي 250 فولت و 50 هرتز كان مقدار التيار المسحوب 5 أمبير ثم انخفض التيار الى 12 أمبير . بعد اشتغال المكبح . اوجد :

- أ- ممانعة ومحاثة الملفات لكل من وضعي التلامس
- ب- عامل القدرة في وضع الاشتغال
- ج- قيمة المتسعة التي تربط على التوازي لترفع عامل القدرة الى الواحد في وضع الاشتغال .

$50 \Omega, 0.146 \text{ H}, 125 \Omega, 0.391 \text{ H}, 0.161 \text{ lag}, 25 \mu\text{F}$

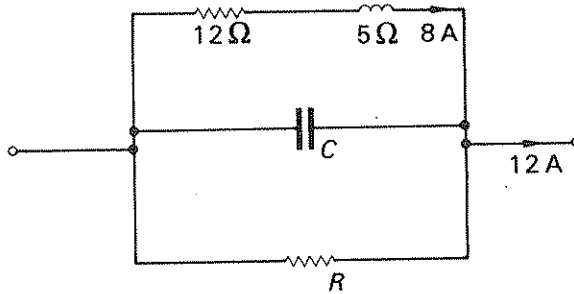
28. ملف مقاومته الفعالة 12 أوم ومفاعلته الحثية 5 أوم . ربط على التوازي معه مقاوم ومتسعة . فإذا كان تيار المصدر يساوي 8 أمبير بعامل قدرة مقداره واحد وكان التيار الذي يمر في الملف يساوي 5 أمبير احسب قيم المقاومة والمفاعلة السعوية .

$19.2 \Omega, 33.8 \Omega$

29. الدائرة المبينة في شكل 50-7 مربوطة الى مصدر جيبى ذي 50 هرتز كان التيار الكلي يساوي 12 أمبير ويسبق فولتية المصدر بزاوية طور مقدارها 30° فإذا كان التيار في الفرع العلوي يساوي 8 أمبير احسب :

- أ- فولتية المصدر
- ب- تيارات الفروع غير المعلومة
- ج- قيمتي R و C
- د- مقاومة ومفاعلة الدائرة المتوازية المكافئة

$104 \text{ V}, 3.02 \text{ A}, 9.08 \text{ A}, 34.5 \Omega, 278 \mu\text{F}, 7.5 \Omega, 4.3 \Omega \text{ (SANCAD)}$

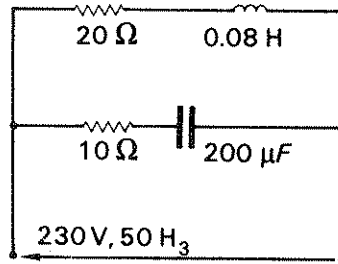


شكل 50-7

30. للدائرة المبينة في شكل 51-7 والمصدر جيبي . احسب :

- أ- التيار في كل فرع .
- ب- التيار الكلي .
- ج- عامل القدرة الكلي .
- د- الدائرة المتوالية المكافئة .
- هـ- قيمة وطبيعة المفاعلة التي يجب ان تربط على التوالي مع الدائرة لكي يكون عامل القدرة الكلي مساوياً للواحد .

$$7.2 \text{ A}; 12.2 \text{ A}; 11.92 \text{ A}; 0.92 \text{ يسبق } 17.7 \Omega; 454 \mu\text{F} X_L = 7.5 \Omega$$

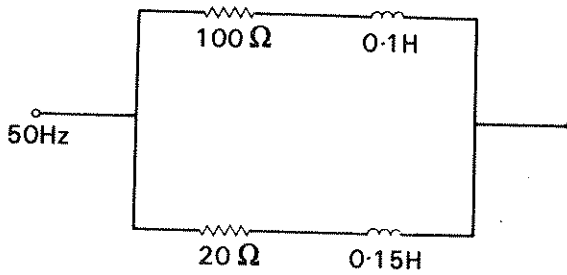


شكل 51-7

31. اذا كانت الفولتية عبر المقاوم 100 أوم في الدائرة المبينة في الشكل 52-7 تساوي 250 فولت احسب مايلي :

- أ- التيار والقدرة المسحوبتين من المصدر
- ب- عامل القدرة للدائرة
- ج- قيمة السعة المطلوب ربطها على التوالي مع المصدر ليكون عامل القدرة يساوي واحداً .

$$1.41 \text{ A}; 0.62 \text{ يتخلف } 45.5 \text{ W}; 108 \mu\text{F}$$



شكل 52-7

32- وضح بالرسم كيف تتغير مفاعلة دائرة RLC على التوالي وكذلك قيمة الممانعة مع ازدياد التردد من الصفر الى قيمة اكبر بكثير من قيمة الرنين .

دائرة تحتوي على ملف مقاومته 100 أوم ومحثاته 0.15 هنرى على التوالي مع متسعة قيمتها 30 ميكروفراد تعمل بعامل قدرة مقداره واحد . اذا ربطت الدائرة الى مصدر جيبي فولتيته تساوي 250 فولت . اوجد .

أ- تيار المصدر

ب- الفولتية عبر كل عنصر من عناصر الدائرة

ج- الطاقة المفقودة من قبل الدائرة خلال خمسة دقائق .

2.5 A, 177 V, 306 V, 187.5 kJ

33- وضح ماذا يقصد بالرنين الكهربائي في الدوائر الكهربائية .
تحتوي دائرة على ملف مقاومته 100 أوم ومحثاته 0.5 هنرى على التوازي مع متسعة قيمتها 20 ميكروفراد وتعمل كلها بعامل قدرة يساوي واحد . عند ربطها بمصدر جيبي قيمته 250 فولت وتردده متغير . احسب :

أ- تردد المصدر

ب- تيار المصدر

ج- تيار الملف

اذا غير التردد لكي يحدث الرنين عند ربط الملف والمتسعة على التوالي عبر المصدر . احسب

د- التغير بالتردد

هـ- القيمة الجديدة لتيار المصدر

38.5 Hz, 1.0 A, 1.59 A, 2.5 A, 11.5 Hz

34- ملف خانق مربوط على التوالي مع متسعة قيمتها 20 ميكروفراد . ربط عبر مصدر للفولتية ذي 200 فولت . فوجد ان الدائرة تسحب تياراً اعظم مقداره 50 أمبير عندما يكون تردد المصدر 100 هرتز . احسب محاطة ومقاومة الملف الخانق والفولتية عبر المتسعة .

4 Ω, 126 mH, 3.95 kV

35- ملف مقاومته غير مهملة . ربط على التوالي مع متسعة عبر مصدر متغير التردد ثم غيرت الفولتية حتى يصل التيار قيمته العظمى ويساوي 0.5 أمبير . فاذا كانت فولتية المصدر تساوي 20 فولت وتردده 318 هرتز . احسب مقاومة الملف ومحثاته اذا كانت الفولتية عبر المتسعة تساوي 50

فولت عند مضاعفة التردد . احسب التغير في السعة المطلوب لابقاء قيمة التيار 0.5 أمبير مع بقاء فولتية المصدر 20 فولت .

40 Ω, 50 mH, 1.25 μF

36. ارسم مخططاً لدائرة مبيناً ربط الفولتميتر والاميتر والواطمير لقياس القدرة الداخلة الى ملف ذي لب حديدي . ما هي المعلومات التي يمكن الحصول عليها من القراءات . اذا كانت القراءة على هذه الاجهزة تساوي 110 فولت و 2.5 أمبير و 150 واط على التعاقب وكانت المقاومة للتيار المستمر للفائف النحاسية تساوي 15 اوم . احسب محاطة الملف وعامل القدرة في اللب الحديدي اذا كان المصدر جيبياً ويعمل بتردد 50 هرتز .

0.118 H, 56.25 W

37. باستعمال رسم مناسب وضح كيف يعمل الواطمير الكهروديناميكي ثم وضح كيف يشير هذا الجهاز الى قياس متوسط القدرة في دوائر التيار المتناوب .

ربط الواطمير هذا الى دائرة للتيار المتناوب ذات طور واحد مع ربط دائرة ملف الفولتية للواطمير عبر جهة الحمل . فقرأ 750 واط فاذا كانت مقاومة الملف الفولتية تساوي 4400 اوم ومحاطته صغيرة لحد الاهمال ومقدار الفولتية عبر الحمل 440 فولت . احسب القيمة الحقيقية للقدرة المجهزة للحمل ونسبة الخطأ في قراءات الواطمير للاحمال العالية والواطة .

705 W, + 6.25 %

38. قابلو يغذي جهاز لحيم . يسحب تياراً مقداره 225 أمبير بفولتية تيار متناوب مقداره 110 فولت . وكان معدل عامل القدرة 0.5 متخلف . جهز هذا القابلو بمصدر قيمته 175 أمبير ثم تم استخدام هذا القابلو في تأسيسات متسعة عبر طرفي اجهزة اللحيم . اوجد :
أ- التيار المطلوب للمتسعة والقدرة المتفاعلة التي تحدد تيار القابلو ب 175 أمبير
ب- عامل القدرة الكلي علماً بان المتسعات موجودة في الدائرة .

60.9 A, 6.7 kvar, 0.643

39. محطة ثانوية تجهز الاحمال ذات الطور الواحد التالية :

500 كيلو واط بعامل مقداره واحد

750 كيلو واط بعامل قدرة مقداره 0.8 متخلف

400 كيلو فولت أمبير بعامل قدرة مقداره 0.6 متخلف

200 كيلوواط بعامل قدرة مقداره 0.9 متخلف
احسب قيمة القدرة المتفاعلة لتحسين عامل القدرة الكلي للمحطة الثانوية الى مقدار 0.95 سابق .

1341 kvar

- 40- محرك ذو طور واحد يعمل بفولتية 240 فولت وتردده 50 هرتز وقدره مقدارها 375 واط .
كفاءته عند الحمل الكامل تساوي 0.80 وعامل القدرة له 0.766 متخلف . امكن تحسين
عامل القدرة الى 0.94 متخلف بربط متسعة على التوازي مع المحرك احسب
- أ- المركبات الفعالة والمتفاعلة للدائرة الاصلية
 - ب- التيار الكلي مع وجود المتسعة في الدائرة
 - ج- تيار المتسعة والمفاعلة
 - د- سعة المتسعة
 - هـ- ذروة القدرة المتفاعلة المسحوبة من قبل المتسعة .

1.94 A, 1.64 A, 2.07 A, 0.93 A, 258 Ω , 12.35 μ F, 233 var

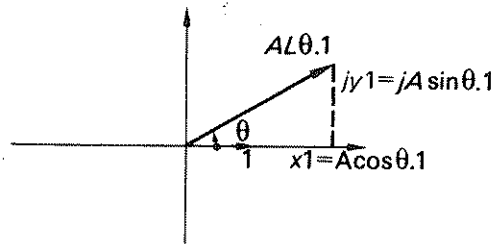
الفصل الثامن

استخدام التوصيف «j»

لقد سبق توضيح حل المسائل التي تحتوي على المركبات والمخططات الطورية وبالأخص تمثيل التيارات والفولتيات التي تتغير جيئاً بواسطتها . ان من الممكن باستعمال الطرق المذكورة اعلاه تحليل معظم الدوائر ، الا أن الزمن الذي يستغرقه الحل بواسطتها يكون طويلاً ، مما يجعلها غير عملية في معظم الاحيان ، ومن الممكن حل نفس المسائل بواسطة طريقة جديدة تستخدم فيها رموز معينة تسهل الطرق السابقة ، دون الاستغناء عنها . ان هذه الطريقة هي طريقة استخدام الجذور الخيالية أو ما يسمى بالتوصيف j (Notation)

1.8 مخططات المركب

سبق أن بينا في الفقرة 4.3 ان مخطط المركب هو ذلك المخطط الذي تمثل الخطوط فيه بقيمة الخطوط (Tensor) وبزاوية (versor) وهي الزاوية التي يدور خلالها الخط بالنسبة الى وحدة خطوة مرجعية . ويدعى الخط الناتج بصورة عامة بالمركب وهي التسمية التي يمكن اطلاقها لتمثيل كمية فيزيائية مثل الفولتية والتيار . لنعود ثانية للمخطط العام المبين في شكل 1-8 حيث يبين فيه المركب المعروف بـ $A \angle \theta$ مستخدمين وحدة الخطوة المرجعية .



شكل 1-8 مخطط مركب عام

ان المركب $A \angle \theta$ يمكن تحليله الى مكونتين افقية وطولها $A \cos \theta$ وعمودية وطولها $A \sin \theta$ لنفرض أن المكونة الافقية تدعى x بحيث

$$x = A \cdot \cos \theta$$

(8.1)

لذلك فان هذه المكونة الافقية بالرموز المركبة تعرف بـ $x \angle 0 \cdot 1$. وتكون المكونة العمودية y تساوي

$$y = A \cdot \sin \theta \quad (8.2)$$

لذلك تعرف المكونة العمودية بالرموز المركبة بـ $y \angle \frac{1}{2}\pi \cdot 1$

يمكننا أن نلاحظ أن (Tensor) المركبة الافقية لا يخدم اي غرض يستحق الاهتمام ويمكن اهماله دون أي تحفظ أما (Tensor) المركبة العمودية فيرمز الى دوران قيمته $\pi/2$ + من الزوايا نصف القطرية . لنفرض الآن أن هذه العملية يرمز لها بـ j . وعلى ذلك فان المكونة العمودية يمكن أن تعرف بـ $1 \cdot j$. ومن رسم مخطط المركبات يتبع أن

$$A = x \cdot 1 + jy \cdot 1 \quad (8.3)$$

$$A = (x + jy) \cdot 1$$

لذلك فان اي مركب يمكن أن يمثل بالشكل $(x + jy) \cdot 1$. وحيث أننا نتعامل مع المكونات الافقية والعمودية فقط فان اهمال الزاوية المرجعية بالنسبة للمكونات الافقية له ما يبرره . ان مقدار مثل $(x + jy)$ يدعى بالعامل المركب (complex operator) نظراً لأنه يحول خطاً متجهياً مثل 1 الى اخر بطول واتجاه مختلف واحياناً بخواص فيزيائية مختلفة . وقبل أن نترك استخدام الرموز القطبية يمكننا أن نلاحظ أنه بصرة عامة .

$$A = A \angle \theta \cdot 1 = (x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}} \angle \tan^{-1} \frac{y}{x} \cdot 1 \quad (8.4)$$

ان العلاقة (8.4) تسمح باستخدام العمليات المركبة (complex operations) وتحويل الى رموز قطبية وذلك كما موضح في المثال 1-8 .

مثال (1-8) مثل المقدار $(4 + j5)$ بـ رموز قطبية .

لنفرض

$$\begin{aligned} (4 + j5) &= A \angle \theta \\ A &= (x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}} = (4^2 + 5^2)^{\frac{1}{2}} = 6.4 \\ \theta &= \tan^{-1} y = \tan^{-1} \frac{5}{4} = 51^\circ 20' \\ (4 + j5) &= \underline{6.4/51^\circ 20'} \end{aligned}$$

وكذلك

$$\begin{aligned}
 A &= (x + jy) \cdot 1 \\
 &= (A \cos \theta + jA \sin \theta) \cdot 1 \\
 &= A(\cos \theta + j \sin \theta) \cdot 1
 \end{aligned} \tag{8.4}$$

ان اشتقاق العلاقة (8.4) يبين طريقة تحويل العوامل القطبية الى رموز مركبة وذلك كما موضح في المثال 2.8 .

مثال (2.8) مثل المقدار $50 \angle 60^\circ$ برموز مركبة

$$\begin{aligned}
 50 \angle 60^\circ &= A \angle \theta \\
 &= (A \cos \theta + jA \sin \theta) \\
 &= (50 \cos 60^\circ + j50 \sin 60^\circ) \\
 &= \underline{(25.0 + j43.3)}
 \end{aligned}$$

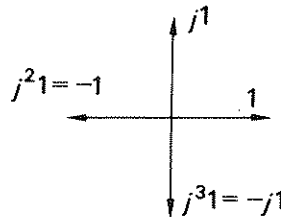
لنفرض

2.8 العامل j (operator)

نظراً لأننا قد عرفنا j بانها ذلك العامل الذي يدير المركب زاوية مقدارها $\pi/2$ من الزوايا النصف قطرية دون ان يغير مقداره لذلك فان عمليتين متتاليتين تديران المركب زاوية مقدارها π من الزوايا النصف قطرية . اي ان المركب يعكس اتجاهه . لذلك فان

$$\begin{aligned}
 j(j) \cdot 1 &= j^2 \cdot 1 \\
 &= -1 \cdot 1
 \end{aligned}$$

ان هذه العبارة يمكن توضيحها بالمخطط المركب المبين في شكل 2.8



شكل 2.8 العامل j

$$\begin{aligned}
 j^2 &= -1 \\
 j &= \sqrt{-1}
 \end{aligned}$$

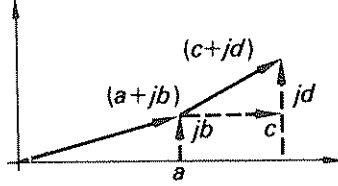
ينتج من ذلك انه من المناسب ان نعتقد ان
(8.5)

واخيراً كما بينا في الفصل الثالث فانه من المناسب عند استخدام مثل هذه الرموز اهمال وحدة الخطوة المرجعية 1 للسهولة وان نفرض بان اي كمية تعرف بعدد مركب (complex number) لها خاصية المركب اي باستخدام العامل المركب فقط ان هذا الخلف يمكن ان يولد ارتباطاً . وسنناقشه مرة أخرى في الفقرة 6.8 كما يمكننا ان نلاحظ انه اذا عرفت الكميات التي تمثل الفولتية والتيار

باعداد مركبة فانه يكون لها نفس خواص المقدار الطوري .

3-8 عمل المركب (Complexor operation)

ان رمز المركب له خواص مهمة يجب اخذها بنظر الاعتبار عند استخدام الرمز . واولى هذه الخواص هي خاصية الجمع . حيث يمكن جمع المركبات بسهولة . لنفرض جمع $(a + jb)$ مع $B/l_2 = (c + jd)$ كما مبين في شكل 3-8 . تدعى المكونات الافقية



شكل 3-8 جمع المركبات

بالحدود الحقيقية وتعمل باتجاه الخطوة المرجعية وتمثل بـ a و c اما المكونات العمودية فتدعى بالحدود التخيلية وتعمل متعامدة مع الخطوة المرجعية بسبب تأثير العامل j من رسم المخطط يمكن ان نلاحظ ان المركب الناتج يساوي

$$(a + c) + j(b + d)$$

اي ان الحدود الحقيقية والتخيلية جمعت بصورة منفصلة . وبطريقة مشابهة يمكن ان نبين ان المركبات تطرح ويكون المركب الناتج

$$(a - c) + j(b - d)$$

اي ان الحدود الحقيقية والتخيلية تطرح بصورة منفصلة . وعلينا هنا ان نلاحظ عند جمع المركبات او طرحها ان تكون كلها ممثلة لكميات فيزاوية من نفس النوع وان تكون ممثلة بدلالة مكوناتها . مثال (3-8) اجمع العددين المركبين التاليين

$$(2 + j5) \text{ and } (4 - j3)$$

ثم اوجد الفرق بينهما .

$$(2 + j5) + (4 - j3) = (2 + 4) + j(5 + (-3)) \\ = (6 + j2)$$

$$(2 + j5) - (4 - j3) = (2 - 4) + j(5 - (-3)) \\ = (-2 + j8)$$

ان العدد المركب الأخير يمثل مركباً يقع في الربع الثاني .

اذا قارنا رموز المركب مع الرموز القطبية في ضوء المثال اعلاه يمكننا ان نجد ان الرموز المركبة تسمح بجمع وطرح الطوريات بطريقة سهلة . وذلك له أهمية خاصة عند جمع وطرح طوريات الفولتية والتيار

استناداً الى قانوني كرشوف . وعلى اي حال فان هذه السهولة تقابلها صعوبة تتمثل بالعمليات اللاحقة . لنعرج مرة أخرى الى العوامل اعلاه : فعند الضرب

$$(A \angle \theta_1) \cdot (B \angle \theta_2) = AB \angle \theta_1 + \theta_2 \\ = (a + jb) \cdot (c + jd)$$

وكما سبق ذكره من ان الرموز المركبة يمكن التعامل معها جبرياً . لذلك

$$(a + jb) \cdot (c + jd) = ac + jad + jbc + j^2 bd \\ j^2 = -1$$

ولكن

$$(a + jb) \cdot (c + jd) = ac + jad + jbc - bd \\ = (ac - bd) + j(ad + bc) \quad (8.6)$$

لذلك فان المقدار يصبح

ان علينا ان نلاحظ ان التأثير المشترك متداخل . اي انه لا يعتمد التسلسل الذي تعمل به العوامل الواحدة بعد الاخرى .

$$\frac{A \angle \theta_1}{B \angle \theta_2} = \frac{A}{B} \cdot \angle \theta_1 - \theta_2 \\ = \frac{a + jb}{c + jd}$$

وكذلك

ولغرض شمول المقدار المركب لنضرب البسط والمقام بنفس العامل $(c - jd)$ والذي لا يؤثر على قيمة المقدار الكلي .

$$\frac{a + jb}{c + jd} = \frac{a + jb}{c + jd} \cdot \frac{c - jd}{c - jd} \\ = \frac{(ac + bd) + j(bc - ad)}{c^2 + d^2} \quad (8.7)$$

ففي كلا الحالتين من الاسهل التعامل مع العمليات المتتالية بالشكل القطبي للمركبات . ولهذا السبب ننصح القارئ بمعرفة كلا الطريقتين بشكل جيد . حيث ان لكل منها استعمالاتها الخاصة . وسيوضح ذلك بشكل أفضل بالامثلة المتبقية من هذا الفصل .

مثال (4.8) اوجد $(1 + j2) \cdot (5 + j6)$

$$(1 + j2) \cdot (5 + j6) = 5 - 12 + j6 + j10 \\ = \underline{\underline{-7 + j16}}$$

مثال (5.8) اوجد $\frac{1+j2}{3+j4}$

$$\begin{aligned}\frac{1+j2}{3+j4} &= \frac{(1+j2)(3-j4)}{(3+j4)(3-j4)} \\ &= \frac{3+8-j4+j6}{3^2+4^2} \\ &= \frac{11+j2}{25} \\ &= 0.44 + j0.08\end{aligned}$$

يسمى العاملان $AL\theta_1 = a - jb$ و $AL\theta_1 = (a + jb)$ بالعاملين المترافقين (conjugate operators) لذلك فان المقدار (8.7) سبق وان وجد باستخدام العوامل المترافقة . وبصورة عامة فان استخدام العوامل المترافقة مرتين يعطي $A^2\angle 0$ اي انه يعطي عدداً مجرداً (pure number) . اما العوامل مثل فتدعى بالعوامل المتعاكسة اي ان لها (Tensor) يساوي A و $\frac{1}{A}$ وانها تستدير بزوايا متساوية ولكن احدهما بعكس الاخر . ان نتيجة استخدامها بصورة متتالية يعطي وحدة واحدة او بكلمة أخرى ان احدها يحذف تأثير الآخر .

$$(a + jb) \cdot \frac{1}{(a + jb)} = 1$$

وأخيراً لغرض ايجاد الجذر التربيعي لكمية مركبة من الضروري أن نعلم أن تربيع الكمية المركبة يمكن ايجادها باخذ مربع الـ (Tensor) ومضاعفة الـ (versor) كما ان الجذر التربيعي يمكن الحصول عليه باتباع نفس الطريقة بشكل معكوس اي بأخذ الجذر التربيعي للـ (Tensor) وتصيف الـ (Versor) ويوضح المثال 6.8 هذه القاعدة . الا اننا ستلاحظ أنه بالرغم من امكانية استخدام العامل في معظم العمليات المركبة فان هناك بعض العمليات الحسابية التي يجب استخدام الرموز القطبية فيها وهذا يؤكد ملاحظتنا السابقة بان النظامين يكمل احدهما الآخر .

مثال (6.8) اوجد الجذر التربيعي للمقدار $(5 + j8.7)$

$$5.0 + j8.7 = A \angle \theta$$

$$A = (5.0^2 + 8.7^2)^{\frac{1}{2}} = 10.0$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{8.7}{5.0} = 60^\circ$$

$$5.0 + j8.7 = 10.0 \angle 60^\circ$$

$$(5.0 + j8.7)^{\frac{1}{2}} = 10.0^{\frac{1}{2}} \angle \frac{60^\circ}{2} = 3.16 \angle 30^\circ$$

$$= 3.16(\cos 60^\circ + j\sin 60^\circ)$$

$$= \underline{2.7 + j1.6}$$

4.8 الممانعة

يمكن تمثيل طوريات الفولتيات والتيارات المتناوبة في المخططات الطورية بالعوامل المركبة . ان ما هو مطلوب في هذه الحالة هو اختيار مقياس رسم واتجاه مرجعي مناسبين وبالعادة يؤخذ بالنسبة الى فرتية المصدر . ان الطوريات بعد ذلك يمكن جمعها مع بعضها وطرحها من طوريات اخرى تمثل كميات متشابهة ممثلة بنفس مقياس الرسم والنسبة الى نفس الاتجاه المرجعي . ان الممانعة ايضاً يمكن تمثيلها برمز مركب بالرغم من ان الممانعة كمية ليست طورية ولكنها احدى الكميات التي يمكن أن تمثل بعدد مركب ويمكن توضيح ذلك كما يلي :

$$\begin{aligned} \frac{V}{I} &= \text{الممانعة} \\ \frac{V \angle \theta.1}{I \angle B.1} &= \\ Z \angle \phi &= \end{aligned}$$

ومن ذلك نرى أن الممانعة لم تعد تمت بصللة الى وحدة الخطوة المرجعية ولذلك فهي ليست كمية طورية . بالرغم من أنه لا يزال بالإمكان تمثيلها بشكل عدد مركب . لنفرض فولتية متناوبة V سلطت على مقاوم R فكان التيار الناتج خلاله I فاذا أخذنا التيار I كمرجع يكون .

$$I = I \angle 0^\circ$$

وكذلك $V = V \angle 0^\circ$ نظراً لأن V و I لهما نفس الطور :

$$\begin{aligned} Z &= \frac{V}{I} \\ &= \frac{V \angle 0^\circ}{I \angle 0^\circ} \\ &= \frac{V(1 + j0)}{I(1 + j0)} \\ &= R \end{aligned}$$

لذلك فان ممانعة المقاوم بالرمز المركب تعطي عدداً مجرداً R لنفرض الان أن الفولتية سلطت على محث ذو ممانعة L ففي هذه الحالة يكون

$$I = I \angle 0^\circ$$

وكذلك $V = V \angle 90^\circ$ نظراً لأن الفولتية تسبق التيار بـ 90° .

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{V}{I} \\
 &= \frac{V \angle 90^\circ}{I \angle 0^\circ} \\
 &= \frac{V(0 + j1)}{I(1 + j0)} \\
 &= \frac{jV}{I} \\
 &= j\omega L \\
 &= jX_L
 \end{aligned} \tag{8.9}$$

ان تأثير استخدام Z في هذا المقدار يتلخص في أنه عند ضرب التيار بالمفاعلة الحثية فان الطوري الناتج يسبق طوري التيار بـ 90°

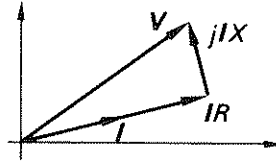
وحيث ان حاصل الضرب يمثل هبوط الفولت المؤثر عبر المفاعلة فان هذه النتيجة تتفق مع ما توقعنا .
واخيراً لنفرض أن الفولتية ساطت على متسعة C . ففي هذه الحالة

$$I = I \angle 0^\circ$$

وكذلك $V = V \angle 90^\circ$ نظراً لأن الفولتية تتخلف عن التيار بزواية مقدارها 90°

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{V}{I} \\
 &= \frac{V \angle -90^\circ}{I \angle 0^\circ} \\
 &= \frac{V(0 - j1)}{I(1 + j0)} \\
 &= \frac{-jV}{I} \\
 &= \frac{-j}{X_C} \\
 &= -jX_C
 \end{aligned}$$

يبين الشكل 4.8 المخطط الطوري لدائرة متواليّة تحتوي على مقاومة ومفاعلة. باستخدام قانون كرشوف الثاني



شكل 4.8 المخطط الطوري لدائرة على التوالي

$$\begin{aligned} V &= V_R + V_X \\ &= IR + jIX \\ &= I(R + jX) \\ Z &= \frac{V}{I} \\ &= R + jX \end{aligned}$$

لذلك فإن $R + jX$ تمثل ممانعة الدائرة. كما يمكن بصورة مشابهة أن نبين أنه لدائرة متواليّة تحوي مقاومة R ومحاثة C ومثسعة

$$\begin{aligned} Z &= R + jX_L - jX_C \\ &= R + j(X_L - X_C) \end{aligned} \quad (8.11)$$

وبشكل اعم اذا ربط عدد من الممانعات على التوالي فان

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 \text{ etc} \quad (8.12)$$

لاحظ بان المقدار اعلاه يجب أن يستخدم عندما يكون ممثلاً بشكل رموز مركبة ولا يمكن استخدام الـ (Tensors) لوحدها

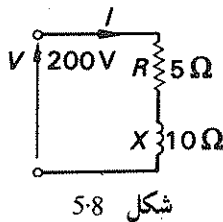
مثال 7.8 عند تسليط فولتية مقدارها $(100 + j150)$ فولت على دائرة كان التيار $(4.5 + j12)$ أمبير. اوجد مقدار الممانعة وزاوية الطور باستخدام الرموز المركبة.

$$\begin{aligned} Z &= \frac{V}{I} = \frac{100 + j150}{4.5 + j12.0} = \frac{(100 + j150)(4.5 - j12.0)}{4.5^2 + 12.0^2} \\ &= \underline{(13.7 - j3.2) \Omega} \end{aligned}$$

نظراً لأن إشارة مكونة المفاعلة سالبة ، فان المفاعلة يجب أن تكون سعوية . لذلك فان زاوية الطور يجب ان تكون بين صفراً و 90° .

$$\phi = \tan^{-1} \frac{3.2}{13.7} = \underline{13.1^\circ}$$

مثال (8-8) مقاوم قيمته 5 أوم ومفاعلة حثية قيمتها 10 أوم ربطنا على التوالي . اوجد التيار والقدرة المفقودة في المقاوم 5 أوم . اذا كانت الفولتية المسلطة على الدائرة هي فولتية متناوبة قيمتها 200 فولت .



شكل 5-8

$$Z = R + jX = (5 + j10) \Omega$$

لناخذ الفولتية كمرجع أي ان $V = 200(1 + j0)$ فولت

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{200(1 + j0)}{5 + j10} = \frac{200(5 - j10)}{5^2 + 10^2} = (8 - j16) \text{ A}$$

نلاحظ انه من غير المحبذ تمثيل التيار برمز مركب وقد طلب في هذه الحالة ايجاد قيمة التيار دون اعطاء مرجع معين .

$$I = (8^2 + 16^2)^{\frac{1}{2}} = \underline{17.9 \text{ A}}$$

$$P = I^2 R = 17.9^2 \times 5 = \underline{1600 \text{ W}}$$

لنفرض ثانية المقدار (8-12) . فاذا كانت العلاقة ممثلة برموز مركبة فان الممانعات يمكن معاملتها بنفس الطريقة التي تعامل بها المقاومات المربوطة على التوالي . ويكمن الفرق في أنه بدلاً من جمع اعداد مجردة في حالة المقاومات يجب جمع اعداد مركبة في حالة الممانعات . وبلاستعاضة عن الممانعات الممثلة برموز قطبية في كافة العلاقات النسبية الاخرى بممانعات ممثلة برموز مركبة ، يمكننا ان نلاحظ اتباع نفس الاساليب في تحليل دوائر المقاومات مع ابقاء تحليل دوائر الممانعات بشكل مركب . وهذا ينطبق بالنسبة لكافة النظريات التي سبق شرحها في الفصل الثاني .
ففي حالة الدوائر المتوازية اذا مثلت الممانعات برموز مركبة فان :

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \text{ etc} \quad (8.13)$$

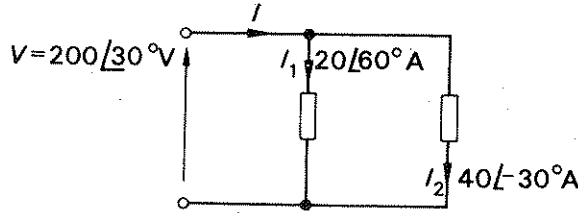
ويستج من ذلك انه في حالة ممانعتين على التوازي

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}$$

$$Z = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (8.14)$$

نلاحظ هنا ثانية ان هذا يقابل ربط مقاومين على التوازي كما نلاحظ انه ليس هناك حاجة لتحليل الدوائر المتوازية من خلال الممانعات الفعالة لها . ويكفي ان نتصور الدوائر المتواليّة والمتوازية ونحلها باستعمال قانوني كرشوف ثم نجمع تباري الفرعين مع بعضهما . ان كلا الطريقتين موضحتان في المثال التالي :

مثال (9-8) سلطت فولتية مقدارها $200 \angle 30^\circ$ فولت على دائرتين مربوطتين على التوازي فكان التيار في الفرعين $20 \angle 60^\circ$ أمبير و $40 \angle -30^\circ$ أمبير . اوجد الممانعة الكلية للدائرة .



شكل 6-8

$$V = 200 \angle 30^\circ = 200(\cos 30^\circ + j \sin 30^\circ) = (173 + j100) \text{ V}$$

$$I_1 = 20 \angle 60^\circ = 20(\cos 60^\circ + j \sin 60^\circ) = (10 + j17.3) \text{ A}$$

$$I_2 = 40 \angle -30^\circ = 40(\cos -30^\circ + j \sin -30^\circ) = (34.6 - j20) \text{ A}$$

$$I = I_1 + I_2 = 10 + j17.3 + 34.6 - j20 = (44.6 - j2.7) \text{ A}$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{173 + j100}{44.6 - j2.7} = \frac{(173 + j100)(44.6 + j2.7)}{44.6^2 + 2.7^2}$$

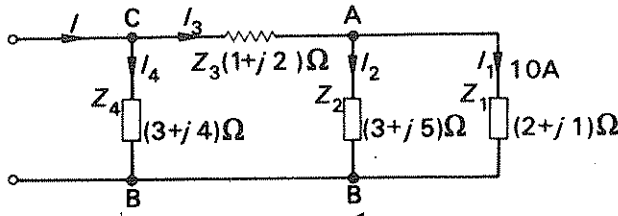
$$= (3.74 + j2.47) \Omega$$

ونظراً لأن السؤال قد اعطي بالرموز القطبية فان الجواب يجب ان يوضع بنفس الصيغة .

$$Z = (3.74^2 + 2.47^2)^{\frac{1}{2}} \angle \tan^{-1} \frac{2.47}{3.74}$$

$$= 4.48/33.3^\circ \Omega$$

مثال (108) اوجد فولتية المصدر المسالطة والتيار للشبكة المبينة في شكل 7-8



شكل 7-8

لنأخذ $I_1 = (10 + j0)$ أمبير كمرجع

$$V_{AB} = I_1 Z_1 = 10(2 - j1) = (20 - j10) \text{ V}$$

$$I_2 = \frac{V_{AB}}{Z_2} = \frac{20 - j10}{3 + j5} = \frac{(20 - j10)(3 - j5)}{3^2 + 5^2} = (0.29 - j3.82) \text{ A}$$

$$I_3 = I_1 + I_2 = 10 + 0.29 - j3.82 = (10.29 - j3.82) \text{ A}$$

$$V_{CA} = I_3 Z_3 = (10.29 - j3.82)(1 + j2) = (17.93 + j16.77) \text{ V}$$

$$V_{CB} = V_{CA} + V_{AB} = 20 - j10 + 17.93 + j16.77 = (37.93 + j6.77) \text{ V}$$

$$V_{CB} = (37.93^2 + 6.77^2)^{\frac{1}{2}} = 38.5 \text{ V}$$

$$I_4 = \frac{V_{CB}}{Z_4} = \frac{37.93 + j16.77}{3 + j4} = \frac{(37.93 + j16.77)(3 - j4)}{3^2 + 4^2}$$

$$= (5.63 - j5.28) \text{ A}$$

$$I = I_3 + I_4 = 10.29 - j3.82 + 5.63 - j5.28 = (15.92 - j9.10) \text{ A}$$

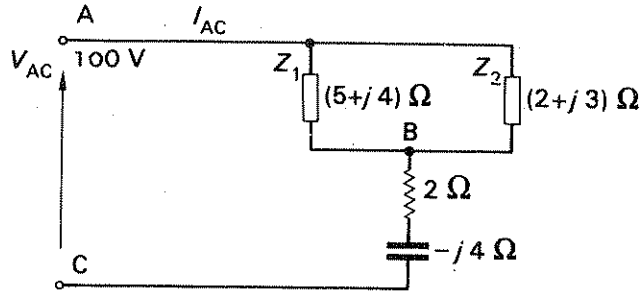
$$I = (15.92^2 + 9.10^2)^{\frac{1}{2}} = 18.3 \text{ A}$$

مثال (118) ممانعة قيمتها $5 + j4$ أوم ربطت على التوازي مع ممانعة أخرى قيمتها $2 + j3$ أوم ثم ربطت هذه الدائرة على التوالي مع أخرى تحوي على مقاومة 2 أوم على التوالي مع مفاعلة سعوية قيمتها 4 أوم. ثم ربطت الدائرة كاملة عبر مصدر للتيار المتناوب قيمته 100 فولت .
أوجد :

أ- تيار المصدر

ب- عامل قدرة الدائرة .

ج- فرق الجهد عبر الدائرة .



شكل 8.8

لنأخذ فولتية المصدر كمرجع $V_{AC} = 100(1 + j0)$ فولت

$$Z_{AB} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{(5 + j4)(2 + j3)}{(5 + j4) + (2 + j3)} = \frac{(-2 + j23)(7 - j7)}{7^2 + 7^2}$$

$$= (1.50 + j1.78) \Omega$$

$$Z_{BC} = (2 - j4) \Omega$$

$$Z_{AC} = Z_{AB} + Z_{BC} = 1.50 + j1.78 + 2 - j4 = (3.50 - j2.12) \Omega$$

لاحظ عدم وجود دقة في النتيجة والذي سيقبله الآن ويمكن تصحيحه في النهاية.

$$I_{AC} = \frac{V_{AC}}{Z_{AC}} = \frac{100(1 + j0)}{(3.50 - j2.12)} = \frac{100(3.50 + 2.12)}{3.50^2 + 2.12^2}$$

$$= (20.9 + j12.7) \text{ A}$$

$$I_{AC} = (20.9^2 + 12.7^2)^{\frac{1}{2}} = \underline{24.4 \text{ A}}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{X}{R} = \tan^{-1} \frac{2.12}{3.50} = 31^\circ$$

$$\cos \phi = \cos 31^\circ = \underline{0.86 \text{ lead}}$$

$$V_{AB} = I_{AB} Z_{AB} = (20.9 + j12.7)(1.50 + j1.78)$$

$$= (8.75 + j56.2) \text{ V}$$

$$V_{AB} = (8.75^2 + 56.2^2)^{\frac{1}{2}} = \underline{56.9 \text{ V}}$$

$$V_{BC} = V_{AC} - V_{AB} = 100 - (8.75 + j56.2) = (91.3 - j56.2) \text{ V}$$

$$V_{BC} = (91.3^2 + 56.2^2)^{\frac{1}{2}} = \underline{107.3 \text{ V}}$$

5-8 المسارية

في تحليل الدوائر المتوازية من المفيد في كثير من الاحيان استعمال قيم المسارية بدلا من قيم الممانعة ويمكن تمثيل ذلك بالرموز المركبة بسهولة على النحو التالي :

$$Y = \frac{1}{Z}$$

$$= \frac{1}{R + jX}$$

$$= \frac{R - jX}{R^2 + X^2}$$

ولكن من تعريف التوصيلية G والتقبيلية B

$$Y = G + jB$$

وبمساواة الكميات المرجعية والعمودية

$$G = \frac{R}{R^2 + X^2} \quad (8.15)$$

وكذلك

$$B = \frac{-X}{R^2 + X^2} \quad (8.16)$$

وبتعويض $Y = 1/Z$ في العلاقة (8-13)

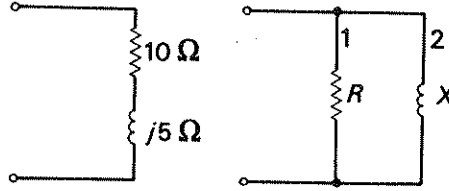
$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 \dots \text{ الخ} \quad (8.17)$$

وأخيراً يمكننا ملاحظة ان اشارة التقبيلية هي عكس اشارة المفاعلة لذلك

فاذا كانت X موجبة للمحثة فان B تكون سالبة

واذا كانت X سالبة للسعة فان B تكون موجبة

مثال (12-8) اوجد المقاومة والمفاعلة اللتان اذا ربطتنا على التوازي مع بعضهما فان الدائرة تكافئ دائرة متوازية تحتوي على مقاومة قيمتها 10 أوم ومفاعلة حثية قيمتها 5 أوم .
للدائرة المتوازية



شكل 9.8

$$Z = (10 + j5) \Omega$$

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{10 + j5} = \frac{10 - j5}{10^2 + 5^2} = (0.08 - j0.04) \text{ S}$$

وللدائرة المتوازية المكافئة لها

$$Y = Y_1 + Y_2 = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{R} + \frac{1}{jX}$$

وبمساواة الكميات المرجعية والعمودية

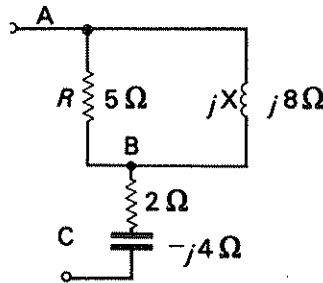
$$\frac{1}{R} = 0.08 \text{ S}$$

$$R = 12.5 \Omega$$

$$\frac{1}{jX} = -j0.04 \text{ S}$$

$$X = \frac{-j}{-j0.04} = 25.0 \Omega$$

مثال (13.8) مقاومة قيمتها 5 أوم مربوطة على التوازي مع مفاعلة حثية قيمتها 8 أوم ربطت هذه الدائرة على التوالي مع دائرة أخرى تحتوي على مقاومة قيمتها 2 أوم على التوالي مع مفاعلة سعوية قيمتها 4 أوم. احسب الممانعة الفعالة للدائرة الكاملة .



شكل 10.8

$$Y_{AB} = \frac{1}{R} + \frac{1}{jX} = \frac{1}{5} + \frac{1}{j8} = (0.200 - j0.125) \text{ S}$$

$$Z_{AB} = \frac{1}{Y_{AB}} = \frac{1}{0.200 - j0.125} = \frac{0.200 + j0.125}{0.200^2 + 0.125^2}$$

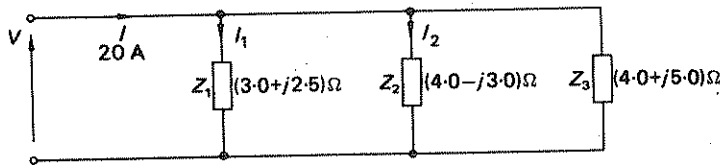
$$= (3.60 + j2.25) \Omega$$

$$Z_{BC} = (2 - j4) \Omega$$

$$Z_{AC} = Z_{AB} + Z_{BC} = 3.60 + j2.25 + 2 - j4$$

$$= \underline{(5.60 - j1.75) \Omega}$$

مثال (14.8) ثلاث ممانعات قيمها ($3 + j2.5$) ، ($4 - j3$) ، ($4 + j5$) اوم
ربطت على التوازي . اوجد التيار في كل فرع عندما يكون تيار المصدر الكلي 20 أمبير .



شكل 11.8

$$Y_1 = \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{3.0 + j2.5} = \frac{3.0 - j2.5}{3.0^2 + 2.5^2} = (0.1966 - j0.1639) \text{ S}$$

وبنفس الطريقة

$$Y_2 = (0.1600 + j0.1200) \text{ S}$$

$$Y_3 = (0.0976 - j0.1220) \text{ S}$$

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3 = 0.1966 - j0.1639 + 0.1600 + j1200$$

$$(+0.0976 - j0.1220)$$

$$= (0.4542 - j0.1659) \text{ S}$$

لنأخذ I تساوي ($20 + j0$) أمبير كمرجع

$$I = VY$$

$$I_1 = VY_1$$

$$\frac{I}{I_1} = \frac{VY}{VY_1}$$

$$I_1 = \frac{Y_1 I}{Y} = \frac{(0.1966 - j0.1639)(20 + j0)}{0.4542 - j0.1659}$$

$$= (9.968 - j3.575) \text{ A}$$

$$I_1 = (9.968^2 + 3.575^2)^{\frac{1}{2}} = \underline{10.6 \text{ A}}$$

وبنفس الطريقة

$$I_2 = \underline{8.3 \text{ A}}$$

$$I_3 = \underline{6.5 \text{ A}}$$

6.8 القدرة

بعد ان درسنا الفولتية $a + jb = V$ والتيار $c + jd = I$ هناك كمية أخرى يطلب ايجادها بصورة خاصة وهي القدرة المفقودة نتيجة لذلك . ان احدى الطرق لايجاد القدرة تكون كما يلي :

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$= \frac{a + jb}{c + jd}$$

$$= \frac{(ac + bd) + j(ad - bc)}{c^2 + d^2}$$

$$= R + jX$$

وبمساواة الكميات المرجعية والعمودية

$$R = \frac{ac + bd}{c^2 + d^2}$$

$$X = \frac{ad - bc}{c^2 + d^2}$$

و

$$I = (c^2 + d^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{وكذلك}$$

$$I^2 Z = I^2 R + jI^2 X \quad \text{لذلك}$$

$$S = P + jQ$$

(8.18)

ان هذه النتيجة تتطابق مع مخططات القدرة المشروحة في الفصل السابق . لناخذ الآن حد القدرة بنظر الاعتبار

$$\begin{aligned}
 P &= I^2 R \\
 &= (c^2 + d^2) \cdot \frac{ac + bd}{c^2 + d^2} \\
 &= ac + bd
 \end{aligned} \tag{8.19}$$

وبنفس الطريقة

$$Q = ad - bc$$

ان هذه الطريقة هي طريقة مطولة ، لذلك فمن الضروري ابتداء طريقة أسهل للحل . لناخذ تأثير ضرب الفولتية والتيار .

$$\begin{aligned}
 \dot{V}\dot{I} &= (a + jb)(c + jd) \\
 &= (ac - bd) + j(ad + bc)
 \end{aligned}$$

ان هناك تشابهاً واضحاً بين هذا المقدار والعلاقة (8.19) ولكن المقدار لا يؤدي الى حساب القدرة بشكل مضبوط لذلك فان هذا الحل يستحق بعض الاهتمام وبالأخص لأيجاد جواب مقنع للسؤال: لماذا لا ينتج هذا الحل الجواب المتوقع ؟

ولغرض اجابة هذا السؤال علينا ان نتعرض الى طريقة اخيرة لتمثيل المركب او الطوري ، وهذه الطريقة تعتمد على المتطابقة

$$\begin{aligned}
 e^{j\omega t} &= \cos \omega t + j \cdot \sin \omega t \\
 e^{-j\omega t} &= \cos \omega t - j \cdot \sin \omega t
 \end{aligned}$$

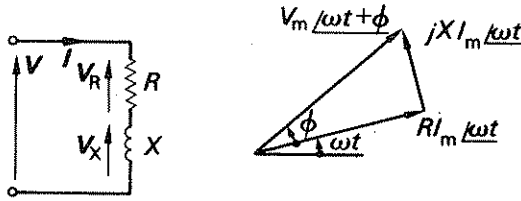
وكذلك

ان هذين المقدارين مترافقان .

ينتج من ذلك ان الطوري يمكن ان يكتب بأي من الأشكال المبينة أدناه

$$\begin{aligned}
 V_m &= V_m \angle \omega t \\
 &= V_m (\cos \omega t + j \cdot \sin \omega t) \\
 &= V_m \cdot e^{j\omega t}
 \end{aligned}$$

وبالنسبة لدائرة ممانعة عامة كما مبين في شكل 12.8



شكل 12-8 دائرة ممانعة عامة والمخطط الانفي المعادل

$$V_m e^{j(\omega t + \phi)} = (R + jX) I_m e^{j\omega t}$$

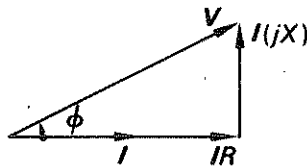
وللموجة الجيبية الشكل $V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ and $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$.

$$V e^{j(\omega t + \phi)} = (R + jX) I_m e^{j\omega t} \quad \text{لذلك} \quad (8.20)$$

لاحظ انه يمكن الآن تقسيم طرفي المعادلة على $e^{j\omega t}$ ليصبح

$$V e^{j\phi} = (R + jX) I e^{j0}$$

وهذا يعطي مخططاً طورياً كاليمين في شكل 13-8 والذي اخذ فيه التيار كمرجع . لنفرض العلاقة (8-20) . كما سبق ، اضرب كلا الطرفين بـ $I e^{j\omega t} = I$ ينتج



شكل 13-8 مخطط طورى لدائرة ممانعة عامة

$$VI = V e^{j(\omega t + \phi)} I e^{j\omega t} = (R + jX) I e^{j\omega t} I e^{j\omega t}$$

$$VI e^{j(2\omega t + \phi)} = (R + jX) I^2 e^{j2\omega t}$$

ان هذا يعطي مقداراً يحتوي على عنصر الزمن ولكن الفولتية والتيار يمثلان بقيم ج. م. ت. اما علاقة القدرة فهي القيمة المتوسطة لاجل علاقة لها مع القيمة الآنية مع الزمن . لذلك فان حاصل الضرب المطلوب قد ترك عامل السرعة الزاوية وهذا يتقارن مع الطريقة المبينة في المخطط الطوري والتي يمكن الحصول عليها دون وجود عامل سرعة زاوية . ولتحقيق هذا الهدف يمكن اتباع طريقة مصطنعة وذلك بفرض ان قطبية القدرة لاحد المقادير الاسية يجب ان تعكس بسبب اختلاف عامل السرعة الزاوية .
افرض I^* هو مرافق I لذلك

$$I = Ie^{j\omega t}$$

$$I^* = Ie^{-j\omega t}$$

وهذا يحقق الطريقة المقترحة . وبضرب طرفي هذه العلاقة بالمقدار

$$V = Ve^{j(\omega t + \phi)} = (R + jX)Ie^{j\omega t}$$

$$VI^* = Ve^{j(\omega t + \phi)}Ie^{-j\omega t} = (R + jX)Ie^{j\omega t}Ie^{-j\omega t}$$

$$= I^2R + jI^2X$$

$$= P + jQ$$

$$= S$$

$$VI^* = S = P + jQ \quad (8.21)$$

لذلك يمكن ملاحظة ان VI تعطي النتيجة المطلوبة نظراً لاهماها عامل الزمن ، ولكن بدلاً من ذلك اعطت دالة تعتمد على القيم الآنية .

كما نلاحظ ان العلاقة (8-21) انتجت مخططاً مركباً حذف فيه الدالة المرجعية . ان تأثير العلاقة (8-21) يمكن ملاحظته بتطبيقها على المسألة الأصلية أي عندما $I = (c + jd)$; $V = (a + jb)$ لذلك

$$S = VI^*$$

$$= (a + jb)(c - jd)$$

$$= (ac + bd) - j(ad - bc)$$

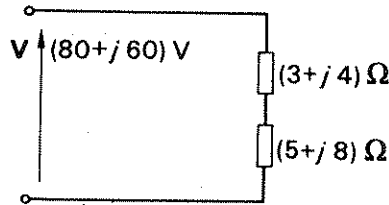
$$= P + jQ \quad (8.19)$$

كما مر في العلاقة 19-8 علينا ان نلاحظ ان اشارة Q هي نفس اشارة العنصر الفعال لممانعة الحمل كما انها عكس التيار بالنسبة للفولتية عند اخذها كمرجع . لذلك فان التيار السابق يعطي قيمة سالبة ل Q والمتخلف يعطي قيمة موجبة . ومرة أخرى يمكن هنا اضافة الاحمال بهدف تحسين عامل القدرة

مثلاً . ان هذا التفسير لاشارة Q يختلف عما مر في الفصل السابع ، الا انه كان هناك صعوبة في تلك المرحلة لتوضيح تأثير عكس الاشارة ، كما ان مفعول القطبية يؤثر فقط على الحسابات باستخدام الرمز j .

وأخيراً فان القارىء يمكنه ان يجد ان اشتقاق العلاقة (8-21) اعلاه كان مطولاً لحد ما ، بحيث ان أي اختصار في ذلك يؤدي الى اعطاء النتيجة بدون تبرير . وهذه النتيجة يمكن ملاحظتها من العلاقات (8-19) وما بعدها . ان المقدار الذي يمثل القدرة يمكن ايجاده بأخذ مرافق الفولتية بدلاً من التيار ، ولكن هذه النتيجة تسبب الى عكس الاشارة ، وذلك يخالف اقتراحات منظمة الـ I.E.C.

مثال (15-8) ممانعة قيمتها $(3 + j4)$ اوم ربطت على التوالي مع أخرى قيمتها $(5 + j8)$ اوم . اذا سلطت فولتية ممثلة بـ $(80 + j60)$ فولت على الدائرة الناتجة ، اوجد القدرة المفقودة في الدائرة .



شكل 14-8

$$Z = Z_1 + Z_2 = 3 + j4 + 5 + j8 = (8 + j12) \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{80 + j60}{8 + j12} = \frac{20(4 + j3)}{4(2 + j3)} = \frac{5(4 + j3)(2 - j3)}{2^2 + 3^2}$$

$$= (6.53 - j2.31) \text{ A}$$

$$S = \dot{V}I = (80 + j60)(6.53 + j2.31)$$

$$= (383 + j477) \text{ VA}$$

$$= P + jQ$$

$$P = 383 \text{ W}$$

وحيث ان Q تساوي 477 فار وهي موجبة فان ذلك يبين ان عامل قدرة الدائرة يتخلف وهو المتوقع من المقدار الممثل لممانعة الدائرة .

مثال (16-8) ربطت الاحمال التالية على التوازي

أ- 200 كيلو فولت أمبير بعامل قدرة متخلف (0.8)

ب- 100 كيلو واط بعامل قدرة يساوي واحد

ج- 300 كيلو واط بعامل قدرة سابق 0.8

د- 500 كيلو فولت أمبير بعامل قدرة متخلف 0.6

الحمل آ :

$$\cos \phi_a = 0.8$$

$$\phi_a = 53.2^\circ$$

$$\sin \phi_a = 0.6$$

$$\begin{aligned} S_a &= S(\cos \phi_a + j \sin \phi_a) \\ &= 200 \times 10^3 (0.8 + j0.6) \text{ VA} \\ &= (160 + j120) \text{ kVA} \end{aligned}$$

وكذلك بالنسبة لبقية الاحمال يمكن وضعها بشكل

$$S_b = (100 + j0) \text{ kVA}$$

$$S_c = (200 - j150) \text{ kVA}$$

$$S_d = (300 + j400) \text{ kVA}$$

عند حساب S_c كان من الضروري ايجاد مقدار القدرة الظاهرية نظراً لأنها تساوي القدرة الحقيقية المعطاة وهذه يمكن ايجادها بقسمة القدرة الحقيقية P_c على عامل القدرة $\cos \phi_c$ ، لذلك فان S_c تساوي 250 كيلو فولت أمبير .

$$S = S_a + S_b + S_c + S_d = (760 + j370)$$

$$\cos \phi = \frac{P}{(P^2 + Q^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{760}{(760^2 + 370^2)^{\frac{1}{2}}} = 0.9$$

الحمل الكلي يساوي 760 كيلواط بعامل قدرة متخلف مقداره 0.9

مسائل على استخدامات التوصيف z

1. ممانعتان قيمتهما $z5 + 3$ أوم و $z7 - 4$ أوم . ربطتا على التوازي الى مصدر للتيار المتناوب الجيبي ، قيمة فولتيته 200 فولت . اوجد التيار في كل فرع ثم اوجد التيار الكلي المسحوب من المصدر .

$$34.3 \text{ A}, 24.8 \text{ A}, 30.9 \text{ A}$$

2. ملف مقاومته 5 أوم ومحثاته 31.8 mH ربط على التوالي مع ممانعة قيمتها $z15 - 10$ أوم في تردد 50 هرتز . اذا ربطت الدائرة الى مصدر للتيار المتناوب ذي 150 فولت ، احسب ما يلي :
- أ- التيار الذي يمر في الدائرة حينما يكون تردد المصدر 50 هرتز .
- ب- التردد الذي تكون الممانعة فيه أقل ما يمكن .
- ج- فرق الجهد عبر الملف للتردد الأخير .

$$9.55 \text{ A}, 61.2 \text{ Hz}, 132 \text{ V}$$

3. دائرة تحتوي على جزئين أ ب ، ب ج مربوطان على التوالي . الجزء أ ب يحتوي على مقام قيمته 5 أوم ، مربوط على التوازي مع ممانعة قيمتها $z(5 - 5)$ والجزء ب ج عبارة عن ممانعة قيمتها $z(2 + 4)$ اذا كان التيار في الفرع ($z5 - 5$) أوم يساوي $20/0^\circ$ أمبير احسب قيمة الفولتية بين النقطتين أ و ج .

$$260 \angle 4.5^\circ \text{ V}$$

4. ممانعة قيمتها $(6 + z12)$ أوم ربطت على التوازي مع ممانعة قيمتها $(24 + z12)$ أوم . ثم ربطت الممانعة الناتجة على التوالي مع ممانعة قيمتها $(z5 - 24)$ أوم . وكانت كافة القيم محسوبة في تردد 50 هرتز . ربط مصدر جيبي فولتيته 100 فولت وتردده 50 هرتز على الحمل اعلاه . احسب تيار المصدر وزاوية طوره بالنسبة للفولتية .

$$3.34 \angle -4.5^\circ \text{ A}$$

5. ملفان مقاومتهما 5 أوم و 10 أوم ومحثاتهما 10 ملي هنرى و 15 ملي هنرى على التعاقب ربطا على التوازي عبر مصدر للتيار المتناوب ذي 100 فولت و 50 هرتز . احسب مقاومة ومحاثة الملف المكافئ الذي يسحب نفس التيار بنفس عامل القدرة بدل الملفين المتوازيين

$$3.3 \Omega, 6.08 \text{ mH}$$

6. ثلاث ممانعات مربوطة على التوالي اقيامها

$$Z_1 = 10 + jX_1 ; Z_2 = 15 + jX_2 ; Z_3 = 30 + jX_3$$

جهزت هذه الدائرة من مصدر ذي 200 فولت و 50 هرتز فكان تيار المصدر يساوي 2.95 أمبير . فاذا كانت الفولتية عبر Z_1 تساوي 55 فولت والفولتية عبر Z_2 تساوي 70 فولت اوجد المقدار المركب رقمياً لكل ممانعة ثم اوجد المحاعة الكلية للدائرة وعامل القدرة .

يتخلف 0.81 126 mH, $(30.0 + j5.8)\Omega$, $(15.0 + j18.1)\Omega$, $(10.0 + j15.8)\Omega$

7. ثلاث ممانعات $Z_A = 5 + j8$ أوم و $Z_B = 4 - j6$ أوم و $Z_C = 7 + j10$ أوم .

ربطت على التوازي الى مصدر للتيار المتناوب فاذا كانت القدرة المفقودة في Z_A تساوي 100 واط ، اوجد القدرة الكلية المفقودة في المجموعة وفولتية المصدر وعامل القدرة .

320 W , يتخلف 0.974 , 42.2 V

8. ممانعتان $R + jX$ و $5 + j8$ مقاستان بالأوم تسحبان تياراً متخلفاً قيمته 5.23 أمبير و قدرة مقدارها 356 واط عند ربطهما على التوالي الى مصدر للتيار المتناوب ذي 100 فولت . احسب التيار والقدرة اللتان تسحبهما الممانعتان حينما تربطان على التوازي عبر نفس المصدر .

21.0 A, 1.5 kW

9. ثلاث ممانعات اقيامها $(4 - j5)\Omega$; $(6 + j4)\Omega$; $(4 + j3)\Omega$

ربطت على التوازي عبر مصدر للتيار المتناوب ذي طور واحد فكان الحمل الكلي 2 كيلواط . احسب القدرة المصروفة في كل فرع وعامل قدرة المجموعة .

524 W, 618 W, 858 W, 0.978

10. ممانعتان قيمتهما $4 + j10$ أوم و $6 + j4$ أوم ، ربطتا على التوازي عبر مصدر للتيار المتناوب فكانت القدرة المصروفة 600 واط . احسب القدرة المصروفة عند ربط الممانعتين على التوالي عبر نفس المصدر .

136 W

11. فولتية متناوبة سلطت بين نقطتين A و C في دائرة تحتوي على ممانعة قيمتها $10 + j10$ أوم مربوطة بين A و B وعلى $5 + j10$ أوم و $10 - j5$ أوم مربوطة على التوازي بين B و C فاذا كانت القدرة المصروفة في Z_{AB} تساوي 360 فولت . احسب فولتية المصدر والقدرة المصروفة في كل من الممانعات الأخرى ، ثم احسب فرق الطور بين التيارات في الفروع التوازية .

129 V, 180 W, 90 W, 90°

12. دائرة تحتوي على ممانعتين مربوطين على التوازي قيمتهما $(2 + j4)\Omega$ ، $(4 - j2)\Omega$ ومربوطة على التوالي مع ممانعة ثالثة قيمتها $(1 + j2)$ أوم . فإذا ربط مصدر للتيار المتناوب ذي 100 فولت عبر المجموعة ، احسب تيار المصدر والقدرة .

18.6 A, 966 W

13. ملفان ممانعتاهما $Z_1 = 6 + j8$ أوم و $Z_2 = R_2 + j20$ أوم ، ربطا على التوالي الى مصدر ذي 50 هرتز . ربط مع الممانعة Z_1 على التوازي متسعة مفاعلتها 12.5 أوم ، فكان التيار المسحوب من المصدر يساوي 8.5 أمبير والقدرة المفقودة في Z_2 تساوي مرة ونصف بقدر القدرة المفقودة في Z_1 احسب :

أ- الفولتية المسالطة

ب- زاوية طورها بالنسبة للتيار

ج- القدرة الكلية المفقودة في الدائرة

394 V, 25.6°, 3020 W

14 . باستعمال التوصيف Z ، احسب أصغر تقنين (rating) للتيار ، لمغذ (feeder) يعمل بفولتية قيمتها 11 كيلو فولت وبطور واحد بيجهاز الاحمال التالية من المصدر :

أ- 1000 كيلوواط حمل اضاءة

ب- 2000 كيلو فولت امبير محرك تزامني (synchronous motor)

بعامل قدرة سابق 0.707

ج- 3000 كيلو فولت امبير محرك حتي (induction motor) بعامل قدرة متخلف 0.8

د- 1500 محرك حتي بعامل قدرة متخلف 0.2

286 A

15. حمل ذي 2000 كيلوواط بيجهاز من خط ذي طور واحد يعمل بفولتية 11 كيلو فولت و 50 هرتز مقاومة دارته 4 أوم والمفاعلة الحثية لدارته 6 أوم . احسب فولتية طرف الارسال (sending end voltage) وعامل القدرة ، اذا كانت الاحمال :

أ- عامل القدرة متخلف 0.8

ب- عامل القدرة قيمته واحد

ج- عامل القدرة سابق 0.8

يتخلف 0.881 11.0 kV يتخلف 0.995 11.8 kV يتخلف 0.772 12.5 kV

16. دائرة تحتوي على مقاوم قيمته 30 أوم ومحث مفاعله 60 أوم متسعة مفاعلتها 20 أوم مربوطة على التوالي ثم ربط معها على التوازي مقاوم قيمته 80 أوم على التوالي مع متسعة مفاعلتها 60 أوم . ربطت المجموعة على التوالي مع محث مفاعله 30 أوم ، وجهزت الدائرة الكلية من مصدر للتيار المتناوب فولتيته 100 فولت . ربط واطمير بحيث يكون ملف التيار له على التوالي مع المقاوم 80 أوم وملف فولتيته عبر المحث الذي مفاعله 30 أوم . احسب قراءة الواطمير .

29.3 W

الفصل التاسع

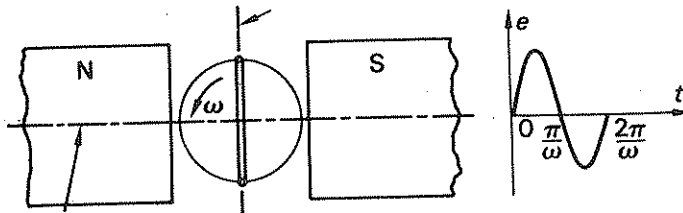
دوائر التيار المتناوب متعلّقة الأطوار

ان دائرة التيار المتناوب ذات الطور الواحد مناسبة لمعظم التطبيقات ، ولكن هناك حقلين من حقول الهندسة الكهربائية لاتناسبهما بشكل جيد ، وهما نقل القدرة (power transmission) والتحويل الكهروميكانيكي (electromechanical conversion) للطاقة باستخدام المكائن . ففي حالة نقل القدرة لاتكون دوائر الطور الواحد افضل نظام للنقل وفي حالة تحويل الطاقة تسبب مكائن الطور الواحد عزمًا نبضياً (pulsating torque) يعمل بعامل قدره ضعيف جداً ويحتاج احياناً الى اجهزة اضافية لبدء تشغيله . وهذه الصعوبات يمكن التغلب عليها باستخدام الانظمة المتعددة الاطوار (ذات الطورين او اكثر) .

1-9 الانظمة المتعددة الاطوار

هناك نظامان متعددا الاطوار لهما اهمية خاصة وهما نظام الطورين والثلاثة اطوار . لقد كان النظام ذي الطورين شائعاً في السابق ولكنه اقل مرونة من النظام ذي ثلاثة اطوار اضافة الى انه اقل اقتصادية منه لذلك فقد اختير النظام ذي ثلاثة اطوار فيما بعد كنظام قياسي عالمي . واحتفى النظام ذو الطورين تقريباً عدا وجود بعض المستهلكين في الارياض المجهزين بهذا النظام كنظام لنقل القدرة . ولكنه اصبح مهماً في الانظمة الالية المؤازرة (Servomechanisms) . وعلى هذا فان معظم تطبيقات القدرة تستعمل النظام ثلاثي الاطوار . ولذلك سنركز مناقشتنا على هذا النظام .

موقع الملف لـ ق د ك مقدارها صفر

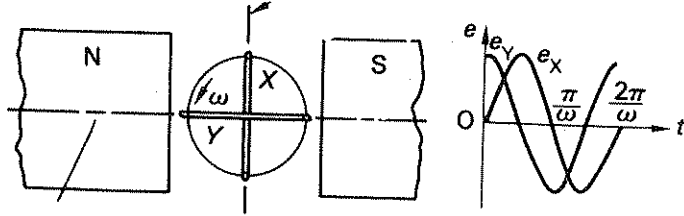


موقع الملف لـ اعظم قيمة لـ ق د ك

شكل 1-9 مولد واحد بسيط وشكل موجة الق د ك

سبق ان بينا في الفصل الخامس انه عند دوران ملف بسرعة ثابتة في مجال مغناطيسي منتظم فان ق. د. ك. متغيرة جيبياً تحتث فيه . وذلك يكون مولداً بسيطاً كما في شكل 1-9 والذي يبين ايضاً موجة الق. د. ك. الناتجة . اذا اثبت الملفان بزوايا قائمة مع بعضهما كما مبين في شكل 2-9 فان كلا منهما ستحتث فيه

موقع الملفات ل ق د ك مقدارها صفر

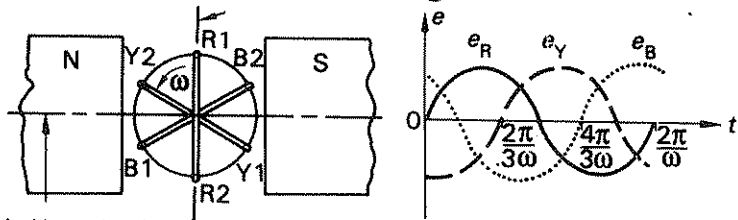


موقع الملفات ل اعظم قيمة ل ق د ك

شكل 2-9 مولد ذي طورين بسيط وشكل موجة الق د ك

ق. د. ك. متغيرة جيبياً ، وتكون هذه الموجات مزاحة عن بعضها بمقدار $\frac{\pi}{2\omega}$ ثانية . واذا ثبت ثلاث ملفات مزاحة عن بعضها بزوايا نصف قطرية مقدار $\frac{2\pi}{3\omega}$ ، كما مبين في شكل 3-9 ، فان كلا منهما ستحتث فيه ق. د. ك. تتغير جيبياً ، وهذه الموجات مزاحة عن بعضها بمقدار $\frac{2\pi}{3\omega}$ ثانية .

موقع الملفات ل ق د ك مقدارها صفر



موقع الملفات ل اعظم قيمة ل ق د ك

شكل 3-9 مولد ذو ثلاث أطوار بسيط وشكل موجة الق د ك

تميز ملفات النظام ذي الثلاثة اطوار بالالوان الاحمر والاصفر والازرق (B , Y , R) وفي الوضع المبين بالشكل حيث تصل الملفات الاحمر ثم الاصفر واخيراً الازرق الى قيمها العظمى الموجبة حسب التسلسل ويدعى ذلك بالنتائج B Y R وهو النتائج القياسي المستخدم في بريطانيا .

في كل الحالات اعلاه يجب ملاحظة اهمية قطبية الـ ق. د. ك. المحتثة . ولغرض ان تكون المخططات متفقة مع بعضها فقد وضع على بداية كل ملف الرقم 1 وعلى نهايته الرقم 2 .
 اذا استبدلت النهايتان في الشكل 1-9 فان الموجة الجيبية للـ ق. د. ك. تتأخر عملياً بزمن مقداره π/ω ثانية . اما في الشكل 2-9 فان تأثيراً اهم يحدث بعكس قطبية الربط . حيث ان e_x ستسبق e_y بدلاً من التتابع القياسي المبين . اما في الشكل 3-9 فان عكس قطبية اي من الملفات سيقتضي على تناظر اشكال الموجات الناتجة ، حيث ان التناظر هو احد الخواص المميزة للنظام ذي الثلاثة اطوار .
 في النظام متعدد الاطوار يكون من الاعتيادي توليد نظام تناظر كامل تكون فيه القوة الدافعة الكهربائية بنفس القيمة الفعالة . وهذا يمكن الحصول عليه باستخدام ملفات متماثلة في كل طور وبذلك تكون الـ ق. د. ك. العظمى في كل منها متساوية . وتساوي E_m . لناخذ ق. د. ك. ملف الطور R كمرجع

$$e_R = E_m \sin \omega t \quad (9.1)$$

فان ق. د. ك. ملف الطور Y تتخلف عن R عن $\frac{2\pi}{3\omega}$ ثانية . وبذلك تكون الـ ق. د. ك. المحتثة فيه تساوي :

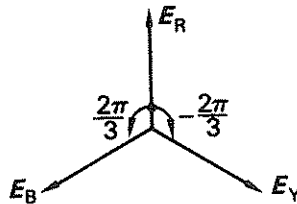
$$e_Y = E_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \quad (9.2)$$

اما ق. د. ك. في ملف الطور B فتتخلف عن R عن $2\pi/3\omega$ ثانية اخرى . او بكلمة اخرى تسبق فولتية الطور R بـ $\frac{2\pi}{3\omega}$ ثانية ، لذلك

$$e_B = E_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \quad (9.3)$$

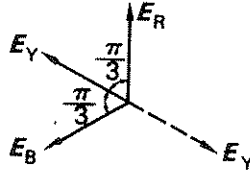
$$= E_m \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \quad (9.3.1)$$

ان هذه الـ ق. د. ك. تدعى بـ ق. د. ك. الطور . وبين الشكل 4-9 المخططات الطورية لها .



شكل 4-9 مخطط طوري لنظام ذي ثلاث اطوار متوازن

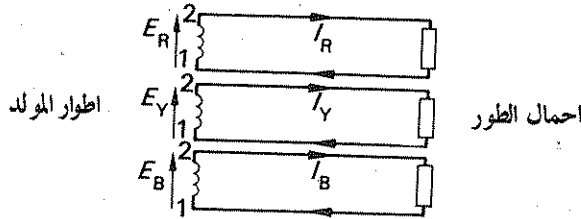
يمكن استخدام المخطط الطوري لتبيان تأثير الخطأ في ربط ملف أحد الأطوار بشكل واضح وان نتيجة ذلك مبيئة في شكل 5-9 ، حيث ان الد.ق. د.ك. مزاحة بـ $\frac{\pi}{3\omega}$ ثانية وان فقدان التناظر يشير الى عدم إمكانية استخدامها .



شكل 5-9 تأثير الربط غير الصحيح لأحد الأطوار

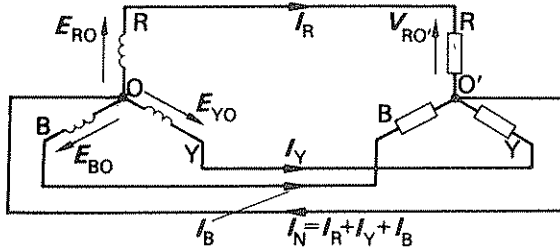
2-9 أنظمة الربط النجمي المتماثل (Symmetrical Star-Connected Systems)

ان تركيب مولد بسيط ثلاثي الأطوار يرتب عادة بشكل يمكنه من تنظيم القوة الدافعة الكهربائية خلال حلقات الانزلاق (Slip-rings) . لنفرض الان حالة ربط حمل خلال ذلك عبر كل من الملفات الثلاثة كما مبين في شكل 6-9 .



شكل 6-9 ثلاثة احمال مجهزة انفرادياً من ثلاثة أطوار

ان نظام النقل الناتج يحتاج الى ستة اسلاك وهو مكافئ لثلاثة أنظمة كل منها ذي طور واحد . لنفرض ان كل نهاية من نهايات الملف المؤشرة عليها بالرقم 1 وربطت مع بعضها واخرجت الى خارج المولد من خلال حلقة انزلاق مشتركة وبذلك تكون الدائرة كما في شكل 7-9 حيث يدعى الربط بنظام الربط النجمي ذي الاربعة اسلاك . وقد رسم المخطط ليكون مشابهاً للمخطط الطوري كما انه يشابه شكل الحرف Y أو النجم (Star) .



شكل 7-9 حمل ذي ثلاث أطوار وأربعة أسلاك مجهز من مولد مربوط بشكل نجمي

يعمل السلك الرابع كسلك رجوع مشترك للتيارات في الاطوار الثلاثة ويدعى بالسلك المتعادل (Neutral Wire) ويشار الى هذا الجزء من الدائرة عند مناقشة القوة الدافعة الكهربائية وفرق الجهد داخل الدائرة بنقطة النجم او النقطة المتعادلة .

تدعى الاق. د.ك. بين أي خط ونقطة النجم بالاق. د.ك الطورية E_{ph} ويرمز لاق. د.ك. للطور R بـ E_{RO} ، ولكن الرجوع الى نقطة النجم يمكن حذفه لذلك يمكن اختصار الرمز الى E_R . وبفس الطريقة يرمز الى الاق. د.ك. للطورين الاخرين بـ E_{YO} و E_{BO} . ان القوة الدافعة الكهربائية هذه متساوية بالمقدار ومختلفة بزوايا الطور ويشابه ذلك الهبوط بالفولت عبر الاحمال الطورية $V_{RO'}$ و $V_{YO'}$ و $V_{BO'}$ كذلك نجد ان الفولتيات الطورية متساوية فيما بينها ومساوية لاق. د.ك. الطورية ، أي أن V_{ph} تساوي E_{ph} ان التيار في الطور R يساوي

$$I_R = \frac{V_{RO'}}{Z} \quad (9.4)$$

ويمكن ايجاد التيارات الطورية الأخرى بنفس الطريقة ، ولذلك فالتيار الطوري I_{ph} يعطى بالمقدار

$$I_{ph} = \frac{V_{ph}}{Z_{ph}} \quad (9.4.1)$$

ان أحد الشروط المهمة لتحقيق ذلك هو تساوي ممانعات الاطوار المختلفة . أي في حالة الحمل المتوازن . لنفرض ان الحمل في كل طور هو مقاوم R

$$V_{RO'm} = V_{YO'm} = V_{BO'm} = V_{phm}$$

$$i_R = \frac{V_{phm} \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t$$

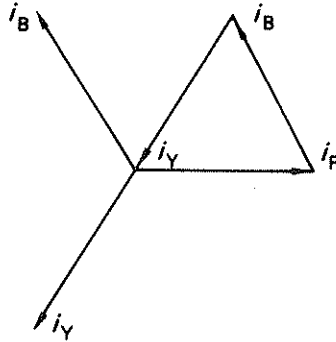
$$i_Y = I_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$i_B = I_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

باستعمال قانون كرشوف الاول :

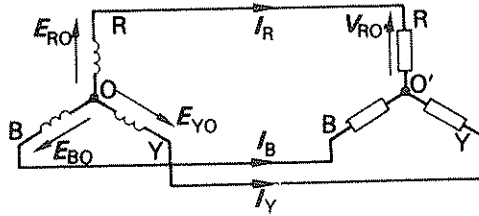
$$\begin{aligned} i_N &= i_R + i_Y + i_B \\ &= I_m \left(\sin \omega t + \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \right) \\ &= 0 \end{aligned} \quad (9.5)$$

وهذه النتيجة يمكن تبينها بيانياً . كما في شكل 8-9 . حيث مرة اخرى نجد ان مجموع التيارات الطورية وانمساوي للتيار في السلك المتعادل يساوي صفراً .



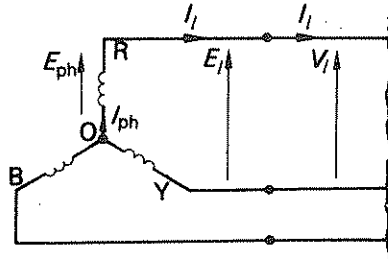
شكل 8-9 جمع التيارات الطورية في السلك المتعادل

لذلك فان التيار في السلك المتعادل لنظام ذي ثلاثة اطوار باربعة اسلاك لنظام نجمي الربط المتعادل يساوي صفراً ومن ثم يمكن اهمال الموصل لغرض تحقيق اقتصاد اكثر . وبالرغم من ان هذه الحالة اخذت عند تساوي المقاومات فانه يمكن الحصول على نفس النتيجة لاي نظام نجمي الربط ذي ممانعات متشابهة . وبين الشكل 9-9 النظام الثلاثي الاطوار ذي الثلاث اسلاك .



شكل 9-9 دائرة ثلاثة أطوار بثلاث أسلاك مربوطة نجماً

وبالرغم من ان السلك الرابع قد حذف فان كلاً من O و O' لهما نفس الجهد . لذلك فان النظام لا يزال متوازناً أي أن E_{ph} لا تزال V_{ph} ، الا انه يمكن ملاحظة ان قياس الد.ك. الطورية لم تعد ممكنة في هذه الحالة ، ولكن يمكن قياس الد.ك. بين الخطوط أي E_i ، وتدعى الأخيرة بالد.ك. للخط . وتمثل بـ E_{BR} ، E_{YB} ، E_{RY} . ان ق.د.ك الخط وفولتيات الخط مهمة نظراً لان هذه الفولتيات تعطى عند وصف النظام للثلاثة اطوار فمثلاً يقال مصدر ذي ثلاث اطوار فولتيته 415 فولت اي فولتية الخط هي 415 فولت .



شكل 10-9 مولد مربوط نجماً بثلاث أسلاك

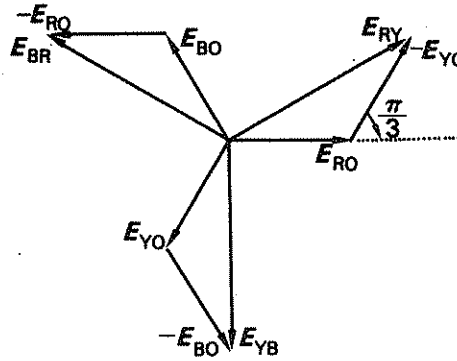
ان اتجاهات التيارات والفولتيات المبينة في شكل 10-9 هي اصطلاحات متفق عليها . وسيتبين من المخطط ان تيار الطور يساوي التيار في كل خط ، اي يساوي تيار الخط I_l

$$I_l = I_{ph} \quad (9.6)$$

يمكن رسم المخطط الطوري من تطبيق قانون كرشوف الثاني كما مبين في شكل 11-9 واعتماداً على الاصطلاح المستخدم

$$\left. \begin{aligned} V_{RY} = E_{RY} = E_{RO} + E_{OY} = E_{RO} - E_{YO} \\ V_{YB} = E_{YB} = E_{YO} - E_{BO} \\ V_{BR} = E_{BR} = E_{BO} - E_{RO} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{كذلك} \\ \text{وكذلك} \end{array} \quad (9.7)$$

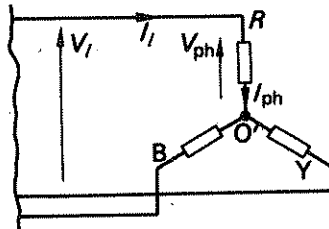
ان الطرح المطلوب قد اجري باستخدام المخطط الطوري الاعتيادي وذلك بعكس اتجاه الطوري ثم بعد ذلك جمعت الطوريات الاخرى . ان زاوية الطور بين E_{YO} و E_{RO} هي $\pi/3$ زاوية نصف قطرية ، ولذلك باستخدام التناظر في المخطط الطوري حيث ان الثلث الطوري متساوي الاضلاع : E_{RY} تسبق E_{RO} بـ $\pi/6$ من الزوايا النصف قطرية وكذلك باستخدام العلاقات الهندسية من المخطط .



شكل 11-9

$$\begin{aligned} V_{RY} = E_{RY} = E_{RO} \cos \frac{\pi}{6} + E_{YO} \cos \frac{\pi}{6} = 2 \cdot E_{RO} \cos \frac{\pi}{6} \\ V_l = E_l = \sqrt{3} E_{ph} \end{aligned} \quad (9.8)$$

في حالة الحمل المتوازن المبين في شكل 12-9 حيث ان O و O' هما نفس الجهد اي $E_{PH} = V_{PH}$



شكل 12-9 حمل متوازن مربوط نجماً بثلاث أسلاك وثلاث أطوار

$$V_l = \sqrt{3}V_{ph} \quad (9.9)$$

في كل طور تسبق فولتية الخط فولتية الطور بـ $\pi/6$ من الزوايا النصف قطرية نظراً لوجود ازاحة تبادلية دائماً مقدارها $2\pi/3$ بين فولتيات الخط وفولتيات الطور .
ان القدرة المتولدة في المولد تعادل ثلاثة امثال القدرة المتولدة في كل طور

$$P = 3E_{ph} I_{ph} \cos \phi$$

والقدرة المفقودة في الحمل تعادل ثلاثة مرات القدرة المفقودة في كل طور

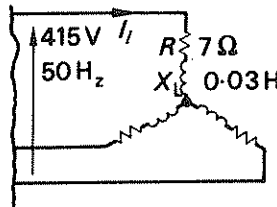
$$P = 3V_{ph} I_{ph} \cos \phi$$

وفي كل حالة

$$\begin{aligned} P &= 3 \cdot \frac{V_l}{\sqrt{3}} \cdot I_l \cos \phi \\ &= \sqrt{3} V_l I_l \cos \phi \end{aligned} \quad (9.10)$$

زاوية الطور ϕ هي الزاوية بين طور الفولتية وطور التيار كما انها هي زاوية طور الحمل لذلك فان العلاقة (9-10) يمكن تطبيقها لكل من الحمل والمولد .

مثال (1-9) ثلاثة ملفات متشابهة كل منها تحوي مقاومة مقدارها 7 أوم ومحاثة مقدارها 0.03 هنرى ربطت بشكل نجم الى مصدر ذي ثلاث اطوار فولتيته 415 فولت وتردده 50 هرتز ، احسب تيار الخط والقدرة الكلية الممتصة (power absorbed)



شكل 13-9

$$\begin{aligned} X_L &= 2\pi fL = 2\pi 50 \times 0.03 = 9.4 \Omega \\ Z_{ph} &= (R^2 + X_L^2)^{\frac{1}{2}} = (7.0^2 + 9.4^2)^{\frac{1}{2}} = 11.7 \Omega \\ V_{ph} &= \frac{V_l}{\sqrt{3}} = \frac{415}{\sqrt{3}} = 240 \text{ V} \\ I_l = I_{ph} &= \frac{V_{ph}}{Z_{ph}} = \frac{240}{11.7} = 20.5 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{7.0}{9.4} = 0.743 \text{ lag}$$

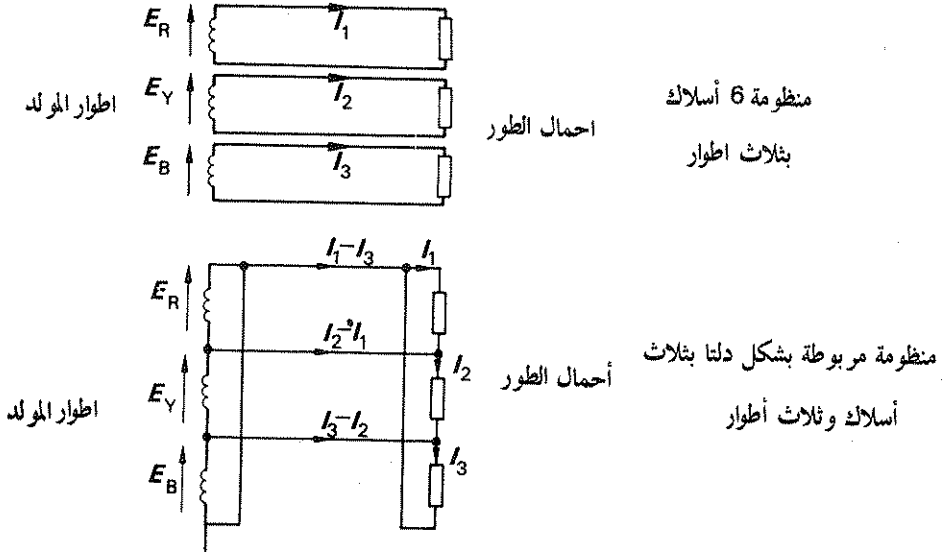
$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi = \sqrt{3} \times 415 \times 20.5 \times 0.743$$

$$= 10950 \text{ W}$$

3-9 انظمة ربط الدلتا المتماثلة

باجراء تحويل جديد لنظام الثلاث اطوار ذي ستة اسلاك المبين في شكل 14-9 ، يربط نهاية كل ملف مع بداية الملف الذي يليه اي يربط الازواج المتجاورة من الاسلاك . ينتج دائرة كالمبينة في شكل 14-9 ب .

ان التيار في كل خط هو عبارة عن الفرق بين تيارات الاطوار بشكل مركب ، وسلاحظ ان الدائرة الناتجة تكون ذات فوائد اقتصادية ايضاً بالنسبة للنظام ذي الستة اسلاك . ان الطريقة المتبعة لرسم الدائرة في هذا الترتيب مبينة في شكل 15-9 والذي يتبين منه ان كلاً من المولد والحمل يمكن تسمية ربطهما يربط الدلتا . ان الرموز الرقمية المستعملة في شكل 14-9 قد استعيرت عنها بالرموز المتعارف عليها . وباستعمال قانون كرسوف الثاني :



شكل 14-9 استقاق منظومة الربط بشكل دلتا

(المترجمان)

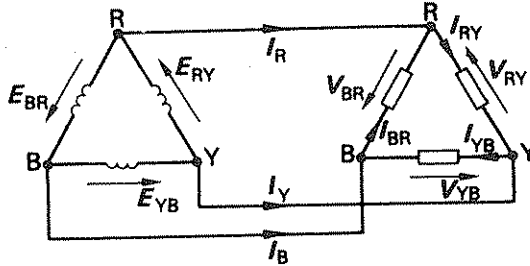
• يترجم الربط Δ بالدلتا او الربط الشبكي او المثلثي .

$$\left. \begin{aligned} I_R &= I_{RY} - I_{BR} \\ I_Y &= I_{YB} - I_{RY} \\ I_B &= I_{BR} - I_{YB} \end{aligned} \right\} \quad (9.9)$$

يمكن كذلك ان نبين ان ق. د. ك. الطورية تعمل بنفس الاتجاه حول ملفات المولد المربوطة بشكل دلتا .
الا انه ليست هناك محصلة تيار دوارة يدور حول الدارة . لانه في اي لحظة يكون

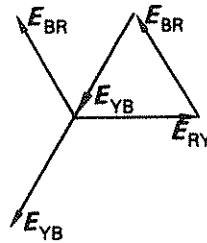
$$\begin{aligned} e_R + e_Y + e_B &= E_m \left(\sin \omega t + \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \right) \\ &= E_m \times 0 \\ &= 0 \end{aligned} \quad (9.10)$$

لذلك فانه لا يوجد تيار دوارة في الدارة . ويمكن البرهنة على الجمع الطوري للـ ق. د. ك. والذي ينتج
قيمة مقدارها صفرأ باستخدام المخطط الطوري كما مبين في شكل 16-9 . ويستخدم الاصطلاح



شكل 15-9 مولد مربوط بشكل دلتا بجهاز حملاً مربوطاً بشكل دلتا

« طور » في نظام الدلتا ليكتسب معنى مختلفاً عن الذي استخدم في نظام الربط النجمي . ففي المولد المبين
في شكل 17-9 ربطت ملفات الطور في هذه الحالة بين الخطوط : لذلك .



شكل 16-9 مخطط طوري يبين طريقة جمع الق د ك لمولد مربوط بشكل دلتا

$$E_{ph} = E_i = V_i \quad (9.11)$$

سبق تبين العلاقة بين تيارات الطور والخط في المعادلة (9-9) . اما المخطط الطوري لها فيتضح من الشكل 17-9 ب والذي يبين طرح الطوريات بشكلها الصحيح . ان زاوية الطور بين I_{RY} و I_{BR} تساوي $\pi/3$ من الزوايا نصف القطرية ، ان تماثل المخطط الطوري اي ان المخطط الطوري يكون مثلثاً متساوي الاضلاع ، ينتج عنه ان I_{RY} يسبق I_R بـ $\pi/6$ زاوية نصف قطرية ، وكذلك من العلاقات الهندسية للمخطط .

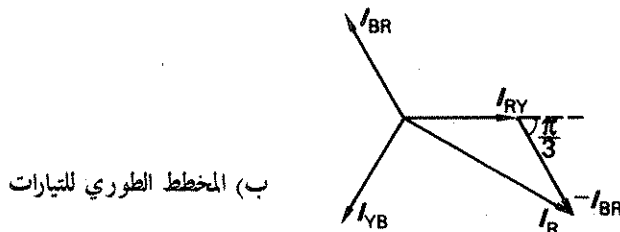
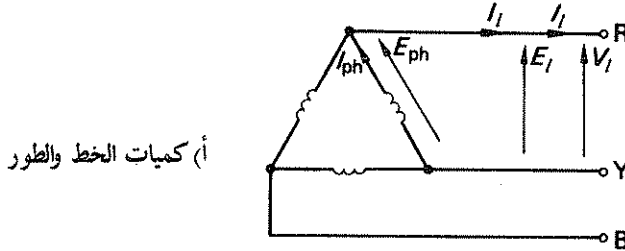
$$I_R = I_{RY} \cos \frac{\pi}{6} + I_{BR} \cos \frac{\pi}{6}$$

$$I_i = \sqrt{3} I_{ph} \quad (9.12)$$

وفي حالة الحمل المتوازن المبينة في شكل 17-9 يكون

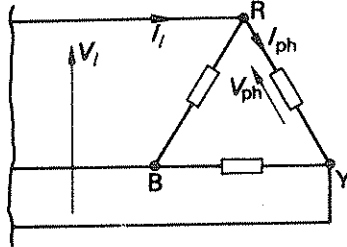
$$I_i = \sqrt{3} I_{ph} \quad (9.12.1)$$

ففي كل طور يتخلف تيار الخط عن تيار الطور بـ $\pi/6$ زاوية نصف قطرية . ولكن هناك ازاحة تبادلية قيمتها $2\pi/3$ زاوية نصف قطرية بين تيارات الخط و تيارات الطور كما هي الحالة اعلاه .



شكل 17-9 مولد مربوط بشكل دلتا بـجهاز حملاً متوازناً

ان القدرة الناتجة في المولد عند تزويد حمل متوازن تعادل ثلاث مرات القدرة الناتجة في كل طور ، حيث ϕ هي الزاوية بين فولتية الطور وتيار الطور. ونجد مرة اخرى أن :



شكل 18-9 حمل متوازن مربوط بشكل دلتا

$$P = 3E_{ph} I_{ph} \cos \phi$$

ان القدرة المفقودة في الحمل المتوازن تعادل ثلاث مرات بقدر القدرة المفقودة في كل طور. وتكون الزاوية ϕ في هذه الحالة هي زاوية طور الحمل. كذلك

$$P = 3V_{ph} I_{ph} \cos \phi$$

وفي كلا الحالتين

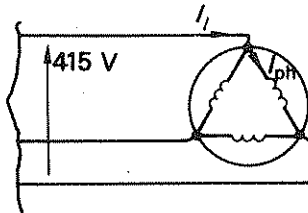
$$P = 3V_l \cdot \frac{I_l}{\sqrt{3}} \cdot \cos \phi$$

$$= \sqrt{3} V_l I_l \cos \phi$$

(9.13)

وهذه العلاقة هي نفس العلاقة المستعملة للقدرة في نظام الربط النجمي ، لذلك فهي علاقة صحيحة للقدرة في اي نظام متوازن ذي ثلاثة اطوار.

مثال 2-9 محرك حثي ذي 415 فولت بثلاثة اطوار. تم تحميله الى 10-4 كيلو واط كقدرة خارجة. وكان يعمل بعامل قدرة مقداره 0-81 متخلف وبكفاءة مقدارها 0-86. احسب تيارات الخط والطور اذا كان ربط ملفات المحرك بشكل دلتا.



شكل 19-9

$$\begin{aligned}
P_{in} &= 10400 \text{ W} \\
&= \sqrt{3} V_l I_l \cos \phi \\
I_l &= \frac{10.4 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 415 \times 0.81} = 17.8 \text{ A} \\
I_{ph} &= \frac{I_l}{\sqrt{3}} = \frac{17.8}{\sqrt{3}} = 10.3 \text{ A}
\end{aligned}$$

4.9 الربط المتداخل للأنظمة المربوطة بشكل نجمي وبشكل دلتا

عند دراسة المخططات للمولدات والاحمال المربوطة بشكل نجمي او دلتا (والمبينة في الاشكال 10.9, 11.9, 16.9, 17.9) تبين ان المعلومات الخارجة او الداخلة في كل حالة هي نفس المعلومات اي ان فولتيات وتيارات الخط تكون معطاة .

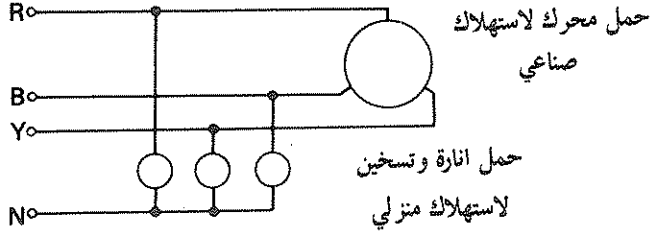
ينتج من ذلك ان المولد المربوط بشكل دلتا يمكن ان يجهز حملاً مربوطةً بشكل نجمي ، والعكس بالعكس كما ان الحمل المربوط بشكل نجمي يمكن ان يعمل على التوازي مع حمل مربوط بشكل دلتا . ان حالة ربط المولد بشكل دلتا غير مهمة من الناحية العملية للاسباب التالية :

1 - لنفس فولتية الخط تكون الد.ق. د.ك. المولدة في كل طور من أطوار المولد المربوط بشكل دلتا هي فولتية الخط كاملة . بينما تساوي ق.د.ك. المولدة لكل طور في المولد نجمي الربط $1/\sqrt{3}$ من فولتية الخط . لذلك فانه لـ ق.د.ك. محددة للطور يعطي ربط المولد نجمياً فولتية خط اعلى . ويتضح ان ذلك ذو فائدة اقتصادية بلا شك .

2 - عند ربط المولد بشكل نجمي تكون نقطة النجمة ذات فائدة عند تجهيزها حملاً مربوطةً نجمياً وغير متوازنة حيث يقوم خط التعادل (Neutral Wire) باعطاء كل طور من أطوار الحمل نفس الفولتية المسلطة .

3 - اذا لم يكن المولد متالياً ، اي انه لا ينتج ق.د.ك. جيبة تماماً ، وذلك ينتج خسارة كبيرة بشكل حرارة في المولد .

ان الاحمال يمكن ان تربط بشكل نجمي او بشكل دلتا ، ففي الحالة الاولى يمكن استعمال الربط ذي الثلاث أسلاك أو الاربع أسلاك . وكما سبق تبيانه فان الربط ذا الاربعة أسلاك مفيد حينما يكون الحمل غير متوازن . ويحدث ذلك بصورة اعتيادية عند ربط حمل ذي طور واحد الى نظام ذي ثلاث أطوار ، أي عند ربط منزل مثلا من شبكة المدينة ذات الثلاثة اطوار . ويبين الشكل 19.9 وضعاً نموذجياً لذلك .

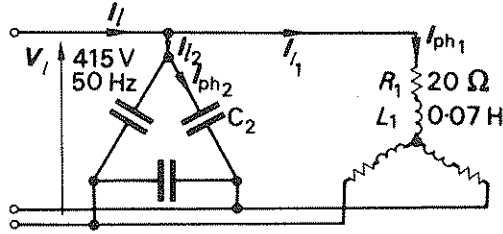


شكل 20-9 حمل ذو طور واحد مأخوذ من نظام بثلاث اطوار

ان المحرك ذي الثلاث اطوار مستهلك صناعي بشكل حملاً متوازناً مجهزاً بـ 415 فولت بين الخطوط اما احمال الاضاءة والتسخين للاستهلاك المنزلي فتكون عادة غير متوازنة ، بالرغم من ان كل منزل لايزال يستلم 240 فولت . ويكون النظام متوازناً فقط عندما تكون كافة احمال الطور الواحد من الاطوار الثلاثة متساوية .

من الممكن تحليل اشتغال الاحمال غير المتوازنة باستخدام الرموز القطبية . ولكن استخدام الرموز المركبة يكون اسهل من ذلك بكثير . واخيراً يجب ان نلاحظ انه في حالات كثيرة تكون ممانعة الدائرة ذات الثلاثة اطوار معطاة بقيم لكل طور . وذلك يعني ان ممانعة كل طور من الحمل معطاة على اساس ان الربط يكون بشكل نجمي ما لم يذكر بشكل واضح ان الممانعات تعود الى حمل مربوط بشكل دلتا .

مثال (3-9) حمل مربوط بشكل نجمي يحوي كل طور منه على ملف مقاومته 20 أوم ومحثاته 0.07 هنرى . ربط الحمل الى مصدر ذي ثلاث اطوار بـ 415 فولت و 50 هرتز . احسب :
 أ- تيار الخط والقدرة وعامل القدرة .
 ب- المسعات التي تربط بشكل دلتا والتي تعمل على تحسين عامل القدرة الكلي الى الواحد .



شكل 21-9

$$X_{L1} = 2\pi fL = 2\pi 50 \times 0.07 = 22.0 \Omega$$

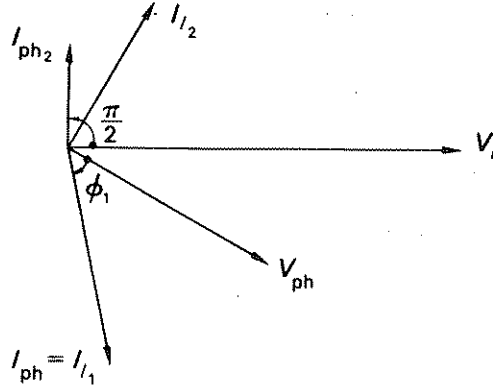
$$Z_{ph1} = (R_1^2 + X_{L1}^2)^{1/2} = (20.0^2 + 22.0^2)^{1/2} = 29.8 \Omega$$

$$I_{L1} = I_{ph1} = \frac{V_{ph}}{Z_{ph1}} = \frac{V_1}{\sqrt{3}Z_{ph1}} = \frac{415}{\sqrt{3} \times 29.8} = 8.05 \text{ A}$$

$$P_1 = 3I_{ph1}^2 R_1 = 3 \times 8.05^2 \times 20 = 3890 \text{ W}$$

$$\cos \phi_1 = \frac{R_1}{Z_{ph1}} = \frac{20.0}{29.8} = 0.672 \text{ lag}$$

لكي يكون عامل القدرة يساوي واحد (unity)



شكل 22-9

$$I_1 \sin \phi = 0$$

$$I_{12} = I_{11} \sin \phi_1 = I_{11} \frac{X_{L1}}{Z_{ph1}} = 8.05 \times \frac{22.0}{29.8} = 5.95 \text{ A}$$

$$I_{ph2} = \frac{I_{12}}{\sqrt{3}} = \frac{5.95}{\sqrt{3}} = 3.44 \text{ A}$$

$$X_{C2} = \frac{V_{ph}}{I_{ph2}} = \frac{415}{3.44} = 121 \Omega$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f X_{C2}} = \frac{1}{2\pi 50 \times 121} = 26.3 \times 10^{-6} \text{ F} \\ = \underline{26.3 \mu\text{F}}$$

من المفيد ان نقارن بين القدرة المفقودة في ثلاث احمال طورية متطابقة عندما تربط مرة بشكل نجمي ومرة بشكل دلتا .
ففي حالة الربط النجمي

$$P = 3V_{ph} I_{ph} \cos \phi \\ = 3 \cdot \frac{V}{\sqrt{3}} \cdot \frac{V_{ph}}{Z} \frac{R}{Z}$$

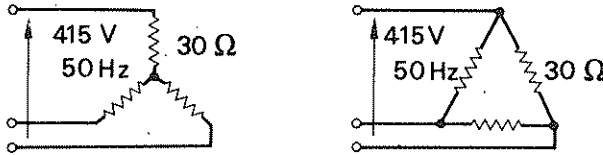
$$\begin{aligned}
&= 3 \cdot \frac{V_l}{\sqrt{3}} \cdot \frac{V_l}{\sqrt{3}} \cdot \frac{R}{Z^2} \\
&= \frac{V_l^2 R}{Z^2} \quad (9.14)
\end{aligned}$$

وفي حالة ربط الدلتا

$$\begin{aligned}
P &= 3V_{ph} I_{ph} \cos \phi \\
&= 3V_l \cdot \frac{V_l}{Z} \cdot \frac{R}{Z} \\
&= \frac{3V_l^2 R}{Z^2} \quad (9.15)
\end{aligned}$$

لذلك يتبين ان الحمل المربوط بشكل دلتا يستهلك قدرة تعادل ثلاث مرات بقدر الحالة عندما تربط بشكل نجمي .

مثال (4-9) ثلاث مقاومات متساوية قيمة كل منها 30 أوم تربط بشكل نجمي الى مصدر جيبى ذي ثلاثة اطوار و 50 هرتز فولتيته 415 فولت . احسب القدرة المستهلكة في الحمل . ثم احسب القدرة المستهلكة في المقاومات عند اعادة ربطها بشكل دلتا الى نفس المصدر . احسب القدرة المفقودة في كل حالة اذا فتحت دائرة احد المقاومات .



شكل 23-9

$$V_{ph} = \frac{V_l}{\sqrt{3}} = \frac{415}{\sqrt{3}} = 240 \text{ V}$$

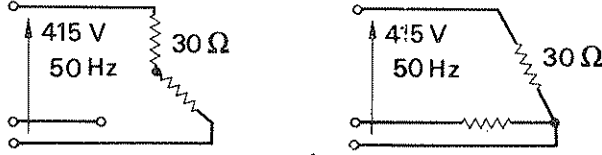
في حالة ربط النجم

$$I_{ph} = \frac{V_{ph}}{R} = \frac{240}{30} = 8.0 \text{ A}$$

$$P = 3I_{ph}^2 R = 3 \times 8^2 \times 30 = \underline{5760 \text{ W}}$$

في حالة ربط الدلتا

$$P = 3 \times 5760 = \underline{17280 \text{ W}}$$



شكل 24-9

$$I = \frac{V_l}{2R} = \frac{415}{2 \times 30} = 6.9 \text{ A}$$

في حالة الربط النجمي

$$P = I^2(2R) = 6.9^2 \times 2 \times 30 = \underline{2870 \text{ W}}$$

$$P = \frac{2}{3} \times 17280 = \underline{11520 \text{ W}}$$

في حالة ربط الدلتا

5-9 القدرة في نظام متوازن ذي ثلاث اطوار

سبق ان بينا ان القدرة في الحمل المتوازن ذي الثلاث اطوار يعطى بالمعادلة

$$P = \sqrt{3} V_l I_l \cos \phi$$

ومن تعريف عامل القدرة $\cos \phi$ فان

$$\cos \phi = \frac{P}{S}$$

لذلك

$$S = \sqrt{3} V_l I_l \quad (9.16)$$

وهنا نؤكد ثانية ان ذلك ينطبق فقط بالنسبة للحمل المتوازن حيث يمكن ان نبين كذلك ان

$$Q = \sqrt{3} V_l I_l \sin \phi \quad (9.17)$$

6-9 تحسين عامل القدرة

ان تصحيح عامل القدرة في الدوائر ذات الثلاث اطوار ذو اهمية كبيرة بسبب كثرة القدرة المستخدمة في هذه الدوائر. فالمحرك ذي الثلاث اطوار عادة يكون عامل قدرته منخفضاً قد يصل الى حد 0.5 متخلف ولذلك يعتبر عامل القدرة عند وصوله الى 0.8 متخلف جيداً بالنسبة للمحرك. أما وحدات القدرة الاخرى فربما تكون ذات مكونات حثية تسبب عامل قدرة أكثر انخفاضاً مثل وحدات اللحام.

وكما هي الحال في دوائر الطور الواحد فان التأثيرات تكون:

أ- قدرة ظاهرية عالية بالنسبة للقدرة الحقيقية.

ب- تنظيم (regulation) ضعيف للفولتية.

لذلك فانه عند تصميم تاسيسات (installations) معينة يجب الأخذ بنظر الاعتبار التوفير

الاقتصادي في ثمن المشروع نتيجة ضعف عامل القدرة وكذلك التوفير الناتج من العقوبات المتضمنة في التسعيرة والتي يمكن ان تفرض من قبل مؤسسة الكهرباء .
ويمكن الحصول على تحسين عامل القدرة بأحدى الطرق التالية :

13-7 المتسعات الستاتيكية وقد سبق شرحها في الفقرة

المحركات التزامنية يمكن ان تعمل هذه المحركات بعوامل قدرة سابقة وبذلك يمكنها الغاء مفعول الاحمال المتخلفة ضمن نفس المجموعة الا ان هذه المكائن لها مساوئ بسبب ثبوت سرعتها وصعوبة بدء تشغيلها . وقد امكن التغلب على الاخيرة بسهولة .
علينا ان نلاحظ مرة اخرى انه بالرغم من ان أجهزة تصحيح عامل القدرة تغير القدرة المتفاعلة وعامل القدرة ، الا انها لا تغير من قيمة القدرة المأخوذة من الحمل .*

مثال (5-9) مصنع يجهز بنظام ذي ثلاثة اطوار و50 هرتز وبفولتية 11 كيلوفولت . ويحوي على الأحمال المتعادلة التالية :

الحمل أ 1.5 ميكاواط بعامل قدرة متخلف قيمته 0.9

الحمل ب 600 كيلوواط بعامل قدرة مقداره واحد

الحمل ج 2 ميكا فولت أمبير بعامل قدرة متخلف مقداره 0.98

الحمل د 3 ميكا فولت أمبير بعامل قدرة متخلف مقداره 0.8

ربطت مجموعة متسعات ذات ثلاثة أطوار الى أطراف المصدر لكي تعطي تصحيحاً في عامل القدرة .
اوجد السعة المطلوبة لكل طور لكي يكون عامل القدرة الكلي 0.98 متخلفاً عندما يعمل المصنع بأعظم حمل له .

$$P_A = 1.50 \text{ MW}$$

$$P_B = 0.60 \text{ MW}$$

$$P_C = S_C \cos \phi_C = 2.0 \times 10^6 \times 0.98 = 1.96 \times 10^6 \text{ W} = 1.96 \text{ MW}$$

$$P_D = S_D \cos \phi_D = 3.0 \times 10^6 \times 0.8 = 2.4 \times 10^6 \text{ W} = 2.40 \text{ MW}$$

$$\underline{6.46 \text{ MW}}$$

$$Q_A = P_A \tan \phi_A = 1.5 \times 10^6 \times 0.47 = 0.72 \times 10^6 \text{ var} = 0.72 \text{ Mvar}$$

$$Q_B = P_B \tan \phi_B = 0.6 \times 10^6 \times 0 = 0 = 0.00 \text{ Mvar}$$

$$Q_C = S_C \sin \phi_C = 2.0 \times 10^6 \times 0.2 = 0.4 \times 10^6 \text{ var} = 0.40 \text{ Mvar}$$

$$Q_D = S_D \sin \phi_D = 3.0 \times 10^6 \times 0.6 = 1.8 \times 10^6 \text{ var} = 1.80 \text{ Mvar}$$

$$\underline{2.92 \text{ Mvar}}$$

$$Q = P \tan \phi = 6.46 \times 10^6 \times 0.2 = 1.29 \times 10^6 \text{ var} \\ = 1.29 \text{ Mvar}$$

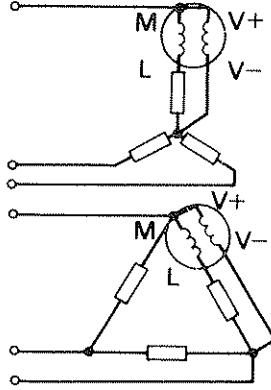
ولكن

ان هذه الملاحظة غير دقيقة حيث ان المتسعات لا تستهلك قدرة تذكر بينما المحركات التزامنية تستهلك قدرة لا يمكن اهمالها عادة (المترجمان)

$$\begin{aligned}
 Q_E &= 2.92 - 1.29 = 1.63 \text{ Mvar} \\
 &= \sqrt{3} V_L I_{LE} = \sqrt{3} V_L I_{phE} \\
 I_{phE} &= \frac{1.63 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 11 \times 10^3} = 85.5 \text{ A} \\
 X_E &= \frac{V_{ph}}{I_{phE}} = \frac{11 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 85.5} = 74.2 \Omega \\
 C_E &= \frac{1}{2\pi f X_E} = \frac{1}{2\pi 50 \times 74.2} = 42.9 \times 10^{-6} \text{ F} \\
 &= \underline{42.9 \mu\text{F}}
 \end{aligned}$$

7.9 قياس القدرة في الدوائر ذات الثلاث اطوار

اذا كان الحمل متوازناً . يمكن قياس القدرة في طور واحد . وتكون القدرة الكلية بعد ذلك حاصل ضرب قراءة الواطميتر في 3 . يبين الشكل 25.9 الدوائر لاحمال مربوطة بشكل نجمي ودلتا . وفي كل حالة ربط ملف التيار للواطميتر مع تيار الطور . وملف الجهد عبر فولتية الطور لاحد الاحمال .



شكل 25.9 الربط لقياس القدرة باستعمال جهاز واطميتر واحد

وتسمى هذه الطريقة بطريقة الواطميتر الواحد . ان الفائدة الرئيسية لهذه الطريقة انه يمكن عمل الربط المطلوب دائماً . اما اذا كانت الربطات المطلوبة لطريقة الواطميتر الواحد غير متوفرة . فبالامكان استخدام طريقة الواطميترين حيث يربط ملفا التيار للواطميترين في أي خطين . بينما يربط ملفا الجهد بين كل من الخطين والخط الثالث وذلك كما مبين في شكل 26.9 . بالرغم من ان الحمل المبين في شكل 29.9 نجمي الربط . فان طريقة ربط الواطميترين تكون هي

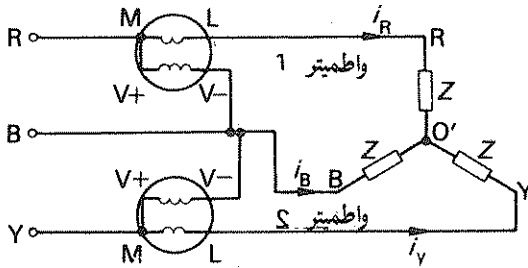
• مثلاً عند عدم توفر خط التعادل في ربط الدلتا

(المترجمان)

نفسها لحالة الحمل المربوط بشكل دلنا . حيث في كلا الحالتين تساوي القدرة المصروفة من قبل الحمل مجموع قراءتي الواطميترين

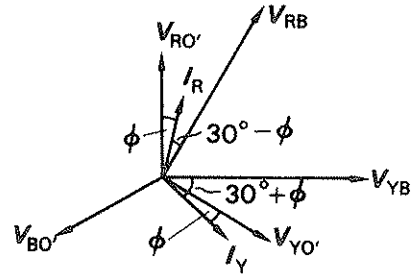
$$\begin{aligned}
 P_1 + P_2 &= v_{RB} i_R + v_{YB} i_Y \\
 &= (v_{RO'} - v_{BO'}) i_R + (v_{YO'} - v_{BO'}) i_Y \\
 &= v_{RO'} i_R + v_{YO'} i_Y - v_{BO'} (i_R + i_Y) \\
 &= v_{RO'} i_R + v_{YO'} i_Y + v_{BO'} i_B \\
 &= P_R + P_Y + P_B
 \end{aligned}$$

لذلك فانه في أي لحظة تكون قراءة الواطميترين مساوية للقدرة المفقودة في الحمل . وبذلك يكون متوسط القدرة المبينة بواسطة الواطميترين مساوية لمتوسط القدرة المفقودة في الحمل . ان قراءتي الواطميترين تبينان متوسط القدرة . لذلك فهما يبينان القدرة الحقيقية المجهزة الى الحمل وتكون العلاقة صحيحة سواء كان الحمل متوازناً أو غير متوازن .



شكل 26-9 استعمال جهازي واطميتر لقياس القدرة

وكبرهان آخر لذلك فانه للحمل المتوازن وبالرجوع الى مخطط طوري نموذجي كالمبين في شكل 26-9 . يتبين ان التيارات متساوية وانها تتخلف عن فولتيات الطور التي تعود لها بنفس الزاوية ϕ .



شكل 27-9 مخطط طوري لطريقة قياس القدرة باستخدام واطميتر لحمل متوازن

$$\begin{aligned}
 P_1 &= V_{RB} I_R \cos(30^\circ - \phi) = V_l I_l \cos(30^\circ - \phi) \\
 P_2 &= V_{YB} I_Y \cos(30^\circ + \phi) = V_l I_l \cos(30^\circ + \phi)
 \end{aligned}$$

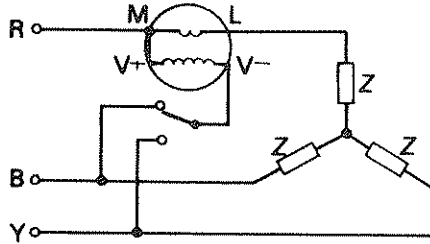
$$\begin{aligned}
P_1 + P_2 &= V_l I_l (\cos(30^\circ - \phi) + \cos(30^\circ + \phi)) \\
&= V_l I_l (2 \cdot \cos 30^\circ \cdot \cos \phi) \\
&= \sqrt{3} V_l I_l \cos \phi
\end{aligned}$$

لذلك فان مجموع قراءتي الواطميترين يساوي القدرة المفقودة في الحمل . ومن التدقيق في التحليل يتبين ان أحد الواطميترين يقرأ $V_l I_l \cos(30^\circ + \phi)$ ويقرأ الواطميتر الثاني $V_l I_l \cos(30^\circ - \phi)$ لذلك يجب ملاحظة النقاط التالية :

1. إذا كان عامل قدرة الحمل اكبر من نصف ، أي ان زاوية الطور أقل من 60° ، فان كلا الواطميترين تكون قراءتها موجبة .
2. اذا كان عامل القدرة للحمل يساوي 0.5 ، أي ان زاوية الطور تساوي 60° ، فان احد الواطميترين يقرأ صفراً ويقرأ الثاني القدرة الكلية .
3. اذا كان عامل قدرة الحمل أقل من 0.5 ، أي ان زاوية الطور أكبر من 60° ، فان أحد الواطميترين يبين قراءة سالبة .

وفي الحالة الأخيرة فان تأشير الواطميتر يجب ان يعتبر قدرة سالبة . ولغرض اجراء ذلك يجب تغيير اتجاه التأشير ، علماً بأن معظم الواطميترات مهيأة للتغيير باستخدام زر عاكس لهذا الغرض . وفي حالة عدم توفره فان ربط ملف التيار يجب ان يعكس .

ان طريقة الواطميترين يمكن اجراءها باستخدام واطميتر واحد وزر عاكس . وذلك كما مبين في شكل 27.9 حيث يقرأ الواطميتر في احد وضعي الزر $V_l I_l \cos(30^\circ - \phi)$ ويقرأ للوضع الثاني $V_l I_l \cos(30^\circ + \phi)$ وقد سبق ان بينا ان مجموع القراءتين يساوي القدرة الكلية المفقودة للحمل في حالة توازنه . الا أن طريقة الربط هذه تنطبق في حالة الحمل المتوازن ولا يمكن تطبيقها في حالة الحمل غير المتوازن .



شكل 28-9 طريقة الواطميترين باستخدام واطميتر واحد

ان عامل القدرة لحمل متوازن يمكن اشتقاقه من قراءتي الواطميترين كما يلي :

$$\begin{aligned}
P_1 - P_2 &= V_l I_l (\cos(30^\circ - \phi) - \cos(30^\circ + \phi)) \\
&= V_l I_l (2 \cdot \sin 30^\circ \cdot \sin \phi) \\
&= V_l I_l \sin \phi
\end{aligned}$$

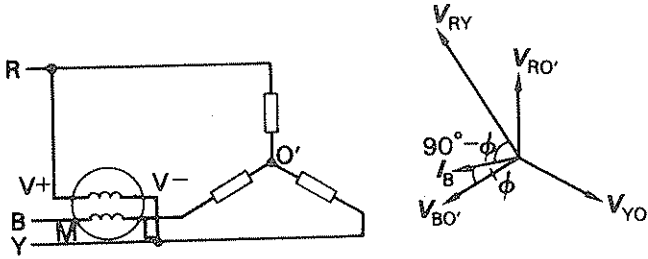
$$\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} = \frac{V_l I_l \sin \phi}{\sqrt{3} V_l I_l \cos \phi} = \frac{\tan \phi}{\sqrt{3}}$$

$$\tan \phi = \frac{\sqrt{3}(P_1 - P_2)}{P_1 + P_2} \quad (9.16)$$

ومن هذه العلاقة يمكن إيجاد زاوية الطور ϕ ومن ثم عامل القدرة .
واخيراً فإنه بالإمكان استخدام واطميتر واحد لقياس القدرة المتفاعلة لحمل متوازن ذي ثلاث اطوار وذلك
كما مبين في شكل 28-9 ، حيث ان قراءة الواطميتر : $V_l I_l \sin \phi = V_{RY} I_B \cos (90 - \phi)$

$$Q = \sqrt{3} V_l I_l \sin \phi \quad \text{ولكن}$$

$$= \sqrt{3} \times (\text{قراءة الواطميتر})$$



شكل 29-9 قياس القدرة المتفاعلة في حمل متوازن باستخدام واطميتر واحد

مثال (6-9) ربط واطميتران لقياس القدرة الداخلة الى حمل متوازن ذي ثلاث اطوار بعامل قدرة يساوي واحد ، فكانت قراءة الواطميترين 10 كيلوواط لكل منهما . اذا انخفض عامل القدرة الى 0.866 (متخلف مع بقاء القدرة دون تغير ، احسب قراءة الواطميترين ، بغض النظر عن عامل القدرة

$$P = P_1 + P_2 = 10 + 10 = 20 \text{ kW}$$

$$\cos \phi = 0.866 = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\tan \phi = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{\sqrt{3}(P_1 - P_2)}{P_1 + P_2} = \frac{\sqrt{3}(P_1 - P_2)}{20}$$

$$3P_1 - 3P_2 = 20$$

$$3P_1 + 3P_2 = 60$$

$$6P_1 = 80$$

ولكن

$$P_1 = 13.33 \text{ kW}$$

$$P_2 = 20 - P_1 = 20 - 13.33 = 6.67 \text{ kW}$$

مسائل على دوائر التيار المتناوب متعددة الاطوار

1 نظام ذو ثلاث اطوار متماثل يجهز حملاً متوازناً قيمته 24.9 كي . في . أي . بفولتية خط مقدارها 415 فولت . احسب تيار الخط .

$$34.6 \text{ A}$$

2 مولد ذو ثلاث اطوار يجهز حملاً متوازناً قيمته 50.4 كي . في . أي . فاذا كان تيار الخط يساوي 69.28 أمبير . احسب فولتية الخط .

$$420 \text{ V}$$

3 حمل متوازن ذو ثلاث اطوار ربط الى فولتية مقدارها 415 فولت بنظام ثلاث اسلاك . فاذا كان تيار الخط الداخل يساوي 35 أمبير والقدرة الكلية 12 كيلوواط . احسب عامل قدرة الحمل . (يسبق أو يتخلف 0.437)

4 مولد ذو ثلاث اطوار وربط نجمي . يعطي قدرة مقدارها 4.6 ميكاواط بعامل قدرة مقداره 0.92 متخلف وكانت فولتية نهايات الخط عند هذا الحمل تساوي 11 كيلو فولت . احسب :
أ- القدرة الخارجة الظاهرية

ب- تيار الخط .

$$5.0 \text{ MVA}, 262 \text{ A}$$

5 مولد للتيار المتناوب ذو ثلاث اطوار . نجمي الربط يولد فولتية خط مقدارها 11 كيلو فولت فاذا كانت قدرة الاخراج الظاهرية للمولد تساوي 12 ام . في . أي بعامل قدرة 0.85 متخلف احسب :

أ- فولتية الطور

ب- قدرة الاخراج

ج- تيار الخط

$$6.36 \text{ kV}, 10.2 \text{ MW}, 631 \text{ A}$$

6 ثلاث مقاومات . قيم كل منها 100 أوم . ربطت اولاً بشكل نجمي ثم بشكل دلتا عبر خطوط ذات ثلاث اطوار و 415 فولت . احسب تيارات الخطوط والطور في كل حالة وكذلك القدرة المأخوذة من المصدر .
اوجد كذلك قيم هذه المقادير في كل حالة اذا فصلت احدى المقاومات .

2.5 A, 1875 W, 4.15 A, 7.2 A, 5160 W,
2.08 A, 862 W, 4.15 A, 7.2 A, 3450 W

7 ربطت ثلاث مقاومات بشكل نجمي عبر خطوط ذات ثلاثة اطوار و 400 فولت . فاذا كان تيار الخط يساوي 10 أمبير . احسب
أ- قيمة كل مقاوم
ب- فولتية الخط المطلوبة لاعطاء نفس تيار الخط . اذا ربطت المقاومات بشكل دلتا

23.1 Ω, 133.3 V

8 اشتق معادلة القدرة في حمل متوازن ذي ثلاثة اطوار وثلاثة خطوط .
يحتوي كل طور من الاطوار الثلاثة المربوطة بشكل نجمي على ملف مقاومته 20 أوم ومحثاته 0.05 هنرى . احسب القدرة المأخوذة من مصدر جيبى ذي ثلاث اطوار فولتيته 400 فولت وتردده 50 هرتز .
ماذا يجب ان تكون المقاومة والمحثاة لكل طور في حمل مربوط بشكل دلتا والذي يسحب نفس القدرة وبنفس عامل القدرة عندما يربط الى المصدر اعلاه ؟
اوجد كذلك تيار الخط في ربط الدلتا .

4.95 kW, 60 Ω, 48 Ω, 9.1 A

9 مولد ذو ثلاث اطوار مربوط بشكل نجمي بفولتية خط قدرها 1.5 كيلو فولت . يجهز حملاً مربوطاً بشكل دلتا . كل طور منه يحوي مقاومة قيمتها 40 أوم ومفاعلة حثية قيمتها 15 أوم . احسب :
أ- تيار المولد والخط الحمل
ب- القدرة والقدرة الظاهرية والقدرة المتفاعلة العظمى المجهزة من المولد على فرض اهمال الخسارة في الخط

61 A, 149 kW, 160 kVA, 55 kvar

10 ثلاث مقاومات متشابهة كل منها تساوي 52 أوم . ربطت اولاً بشكل نجم ثم بشكل دلتا عبر مصدر ذي ثلاث اطوار بفولتية 415 فولت وتردد 50 هرتز . احسب تيارات الخط والطور والقدرة المسحوبة من المصدر في كل حالة .

إذا ازيل احد المقاومات من الدائرة في كل حالة ، ماهي القيم الجديدة لتيارات الخط والطور ؟

4-62 A, 3-32 kW, 7-96 A, 13-8 A, 9-96 kW, 3-98 A, 7-96 A, 13-8 A

11- حمل متوازن ذو ثلاث اطوار يحوي كل طور منه على ملف مقاومته 10 أوم ومحثاته 0-02 من من الهنرى ربط على التوازي مع متسعة قيمتها 31-8 ميكروفراد . احسب تيار الخط والقدرة المفقودة والقدرة الظاهرية ومعامل القدرة حينما يكون الربط بشكل نجم او دلنا الى مصدر جيبي ذي ثلاث اطوار و 415 فولت و 50 هرتز .

19-1 A, 12-4 kW, 13-8 kVA, 0-9 يتخلف 53-7 A, 37-2 kW, 41-3 kVA, 0-9

12- برهن على ان القدرة في دائرة ذات ثلاث اطوار يمكن قياسها باستعمال جهازي واطميتر ، ثم اشتق معادلة القدرة الكلية بدلالة قراءتي الواطميترين .

محرك ذي ثلاث اطوار و 50 فولت يشتغل بعامل قدرة متخلف مقداره 0-4 ويسحب 30 كيلوواط . اوجد قراءة كل من الواطميترين لقياس القدرة الداخلة بصورة صحيحة .

- 4-9 kW, + 34-9 kW

13- معمل يحوي الاحمال التالية والتي تعمل سوية بشكل متوازن عبر مصدر ذي ثلاث اطوار و 50 هرتز .

200 كيلوواط حمل اضاءة وتسخين

200 حصان محرك تزامني كفاءته 0-85

1000 حصان محرك حثي بكفاءة 0-85 أيضاً وعامل قدرة متخلف مقداره 0-8

فاذا كان مجموع الاحمال يساوي 1380 ك . ف . أ . اوجد عامل القدرة الذي يجب ان يعمل به المحرك التزامني . ثم اوجد عامل القدرة الذي يجب ان يعمل به المحرك التزامني لكي يكون عامل القدرة الكلي مساوياً للواحد مع بقاء الحمل ثابتاً .

يسبق 0-259 يسبق 0-9161

14- نظام تجهيز ذي ثلاث اطوار و 11 كيلو فولت و 50 هرتز يجهز حملاً مقداره 2000 ك . ف . أ

بعامل قدرة متخلف مقداره 0-95 ومتكون من خمسة احمال متميزة : اربعة من الاحمال الخمسة هي كما يلي :

600 كيلوواط بعامل قدرة متخلف مقداره 0-8

400 كيلوواط بعامل قدرة مقداره 1

500 كيلوواط بعامل قدره سابق مقداره 0-9

200 كيلو فارتدوره مشروع تحسين عامل القدرة

اوجد قيمة الحمل الخامس وعامل قدرته ثم احسب السعة لكل طور من حمل سعوي مربوط بشكل دلنا لغرض تحسين عامل القدرة الكلي الى الواحد .

400 kW, 0-54 , 8-12 μF

15. الاحمال المتوازنة التالية مربوطة الى مصدر جيبي ذي ثلاث اطوار و 500 فولت و 50 هرتز
 500 كيلوواط بعامل قدرة يساوي 1
 1500 ك. ف. أ بعامل قدرة متخلف مقداره 0.9
 1000 ك. ف. أ بعامل قدرة متخلف مقداره 0.8
 مجموعة متسعوات مربوطة بشكل نجمي .
 أوجد تقنين (ratins) المتسعة لكل طور من الحمل الاخير لكي يكون عامل القدرة الكلي 0.95
 متخلف .

$$385 \text{ kVA}, 4900 \mu\text{F}$$

16. حمل ثلاثي الاطوار مربوط بشكل نجمي يحوي كل طور منه على ملف مقاومته 25 أوم ومفاعله ذات محاطة مقداره 0.1 هنري . احسب
 أ - تيار الخط والقدرة المصروفة وعامل القدرة عند ربط هذا الحمل الى مصدر ذي ثلاث اطوار و 415 فولت و 50 هرتز .
 ب - متسعة كل طور من مجموعة متسعوات مربوطة بشكل دلنا والتي تحسن عامل القدرة الكلي الى الواحد .

$$5.98 \text{ A}, 2.68 \text{ kW}, 0.623 \text{ يتخلف } 20.7 \mu\text{F}$$

17. مولدان ذوا ثلاث اطوار 450 فولت و 50 هرتز ، يعملان على التوازي لتجهيز الاحمال التالية :
 40 كيلوواط بعامل قدرة يساوي واحد
 100 ك. ف. أ . بعامل قدرة متخلف 0.95
 80 ك. ف. أ . بعامل قدرة متخلف مقداره 0.8
 يجهز المولد الاول 100 كيلوواط بعامل قدرة متخلف مقداره 0.85 احسب
 أ - القدرة والقدرة الظاهرية والقدرة المتفاعلة العظمى المجهزة من المولد الثاني .
 ب - السعة المطلوبة لكل طور من مجموعة متسعوات مربوطة بشكل دلنا لتحسين عامل القدرة الكلي للحمل الى 0.95 متخلف .

$$99 \text{ kW}, 105 \text{ kVA}, 17.8 \text{ kvar}, 76 \mu\text{F}$$

18. اذكر مساوىء الحمل ذي عامل القدرة المتخلف الواطىء من وجهات النظر التالية :
 أ - مؤسسة التجهيز
 ب - المستهلك
 لماذا تربط المتسعوات عادة على التوازي لتحسين عامل القدرة ولا تربط على التوالي مع الحمل ؟
 يطلب ربط مجموعة متسعوات تسحب قدرة متفاعلة كلية تساوي 1200 كيلو فار لتحسين عامل القدرة لحمل متوازن ذي ثلاث اطوار في معمل من 0.75 الى 0.95 متخلف . احسب حمل المعمل بالكيلوواط والكيلو فولت أمبير قبل وبعد ربط المتسعوات

$$2150 \text{ kW}, 2260 \text{ kVA}, 2870 \text{ kVA}$$

19 . معمل يُجهّز من مصدر ذي ثلاث أطوار و 11 كيلو فولت و 50 هرتز . يحوي الاحمال المتوازنة التالية .

1-5 . ميكا واط بعامل قدرة متخلف مقداره 0-9

600 كيلو واط بعامل قدرة واحد

2 ميكا فولت أمبير بعامل قدرة متخلف مقداره 0-98

3 ميكا فولت بعامل قدرة متخلف مقداره 0-8

مجموعة متسمات ذات ثلاثة أطوار بشكل نجمي الى أطراف مصدر لاعطاء تصحيح

عامل القدرة بشكل ذاتي . اوجد السعة المطلوبة لكل طور لاعطاء عامل قدرة متخلف مقداره

0-98 حينما يعمل المصنع باعظم حمل له .

42.5 μ F

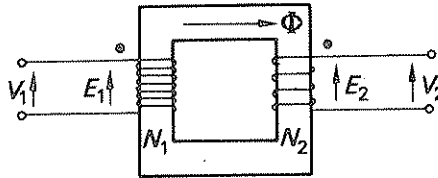
الفصل العاشر

المحولات

المحول هو ما كنه لا تحوي اي اجزاء متحركة . وبالرغم من ذلك يمكنه تحويل الفولتيات والتيارات المتناوبة من قيم عالية الى اخرى واطئة او بالعكس . تستعمل المحولات بكثرة في كافة مجالات الهندسة الكهربائية . وتتراوح بين محولات القدرة الكبيرة المستخدمة في الشبكة الوطنية ومحول الاشارة الصغير المستخدم في المضخم الالكتروني .

1-10 مبادئ العمل :

حينما تسلط فولتية متناوبة على ملف مركز ملفوف حول لب حديدي مغناطيسي فان ق . د . ك . معارضة تحدث فيه ناتجة من التغير المستمر للتدفق الذاتي المتوصل . وهذا هو مبدأ عمل المحث البسيط . ان الق . د . ك . سببها هو معدل تغيير وصلية التدفق داخل الملف . فعند وضع ملف ثاني حول نفس اللب كما مبين في شكل 1-10 : تحدث فيه ق . د . ك . بسبب تأثير الحث التبادلية . وهنا يجب ان نلاحظ ان الملفين معزولان عن بعضهما اي انهما منفصلان كهربائياً .



شكل 1-10 محول بسيط

ان الق . د . ك . المحتثة في الملف الاول او ما يسمى بالملف الابتدائي (Primary Winding) يجب ان تساوي الفولتية المسلطة . عند اهمال اي فقدان ربما يحدث في المحول . وتدعى بال ق . د . ك . الابتدائية E_1 . ان كل لفة تنتج حصتها من الفولتية الكلية بشكل تناسبى . فاذا كان هناك N_1 من اللفات في الملف الابتدائي فان الق . د . ك . المحتثة لكل لفة تساوي $\frac{E_1}{N_1}$ وبنفس الوقت فان كل لفة في الملف الآخر او ما يسمى بالملف الثانوي ستحدث فيه نفس الق . د . ك .

اي $\frac{E_1}{N_1}$ ، وهنا يجب ان نتذكر اننا أهملنا وجود اي فقد ، مما يستوجب عدم وجود اي تسرب في التدفق . واذا كان هناك N_2 لفة في الملف الثانوي فان الـ ق . د .ك . الكلية المحتثة E_2 تساوي

$$E_2 = N_2 \cdot \frac{E_1}{N_1}$$

$$\therefore \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (10.1)$$

حيث تدعى E_2 بالـ ق . د .ك . ، الثانوية لذلك فان النسبة بين القوى الدافعة الكهربائية ومن ثم الفولتيات في الملفين يظهر بانهما يساويان النسبة بين عدد اللفات . وهذا يعطي علاقة سهلة للتحويل من فولتية الى أخرى .
ونظراً لان الفولتية المسلطة تكون جيبيية بصورة عامة ، فانه لمحول مثالي يكون التدفق الناتج في اللب جيبيياً ايضاً . لنفرض ان التدفق متمثل بما يلي :

$$\phi = \Phi_m \sin \omega t$$

ان الـ ق . د .ك . الآتية المحتثة في ملف يحوي N من اللفات موصلة بهذا التدفق ϕ تساوي :

$$e = \frac{d\psi}{dt}$$

$$= N \frac{d\phi}{dt}$$

$$= N \frac{d}{dt} (\Phi_m \sin \omega t)$$

$$= \omega N \Phi_m \cos \omega t$$

$$= 2\pi f N \Phi_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

وهذا يمثل الـ ق . د .ك . المحتثة والتي قيمتها العظمى تساوي $2\pi f N \Phi_m$ ونسبوا التدفق بـ 90 درجة .

$$E_m = 2\pi f N \Phi_m$$

$$\therefore E = \frac{2\pi f N \Phi_m}{\sqrt{2}}$$

$$E = 4.44 f N \Phi_m \quad (10.2)$$

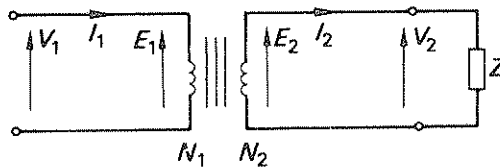
$$E_1 = 4.44 f N_1 \Phi_m \quad \text{لذلك}$$

$$E_2 = 4.44 f N_2 \Phi_m \quad \text{كذلك}$$

إذا قسمنا هذه المقادير احداها على الاخرى فاننا نحصل على العلاقة (10-1) ثانية
 عند ربط حمل عبر الملف الثانوي فان الق. د.ك. الثانوية E_2 ستسبب تيارا I_2 يسري
 في الدائرة الناتجة . ومثل هذا السريان يسبب ق. د.غ. في اللب المغناطيسي الحديدي وتكون هذه
 بنفس الطور ومع التيار وتمثل بالمعادلة :

$$F_2 = I_2 N_2$$

يبين الشكل 2-10 دائرة محول محمل .
 ان مثل هذه الق. د.غ. تغير مقدار التدفق في اللب عن قيمته الاصلية . الا ان التدفق في اللب يجب
 ان يبقى دون تغيير بالمقارنة مع حالة اللاحمل (No-Load) . وذلك لأن هذا التدفق عندما
 يوصل الملف الابتدائي ويتغير حسب تردد المصدر يولد ق. د.ك. معارضة مساوية لفولتية المصدر .



شكل 2-10 محول محمل

ويجب المحافظة على هذه المساواة في جميع الاوقات لغرض تحقيق قانون كرشوف الثاني . ولغرض
 الابقاء على هذه المساواة فان تيارا اضافيا يجب ان يسري في الملف الابتدائي لكي ينتج ق. د.غ. .
 ابتدائية اضافية مساوية بالقيمة ومعاكسة . بالاتجاه لتأثير الق. د.غ. العكسية . لنفرض ان التيار
 الابتدائي هو I_1

$$F_1 = N_1 I_1$$

$$F_1 = F_2$$

$$I_1 N_1 = I_2 N_2$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

ولكن

(10.3)

وهذه العلاقة يمكن دمجها مع العلاقة (10-1)

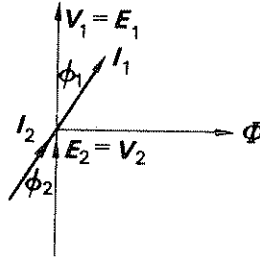
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

(10.3.1)

2-10 المحول المثالي :

يشغل المحول المثالي على المبادئ المشروحة في الفقرة 1-10 ولايحتوي اي فقدان لا في الدوائر الكهربائية ولا في الدوائر المغناطيسية ، هذا بالإضافة الى ان له خاصية مهمة هي انه لا يحتاج الى اي تيار لمغنطة اللب . سبق ان لاحظنا عند تحميل محول ان ق . د . غ . متوازنة تنتج بين الدائرتين الابتدائية والثانوية لكي يبقى تدفق اللب دون تغيير . كما اننا لم نتطرق الى كيفية حصول التدفق الابتدائي في اللب .

اذا كانت محاطة الملف الابتدائي لا نهائية فعند ذلك يكون التيار المطلوب لتوليد هذا التدفق في اللب مقداره صفراً . ومن ذلك ينتج انه عند تحميل المحولات فان كل التيار الابتدائي يستعمل لموازنة التيار الثانوي وفق العلاقة (10-3) . لذلك فان العلاقة (10-3-1) تنطبق على المحول المثالي . ويمثل الشكل 3-10 المخطط الطوري له .



شكل 3-10 المخطط الطوري لمحول مثالي

في الوضع المثالي تكون الفولتية المسالطة V_1 مساوية للاق . د . ك . العكسية E_1 . وبصورة مشابهة فان E_2 تساوي V_2 . حيث ان V_2 هي الفولتية المسالطة على الحمل من اطراف الملف الثانوي . فمن العلاقة (10-3-1)

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$\therefore V_1 I_1 = V_2 I_2$$

$$\therefore S_1 = S_2$$

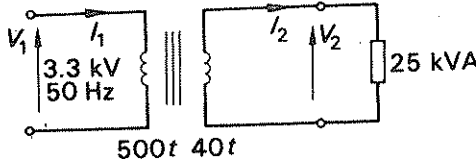
ولكن الفولتيات الابتدائية والثانوية متحد بالطور مع بعضها وكذلك الحال بالنسبة للتيارين الابتدائي والثانوي . حيث انهما متحداً بالطور أيضاً . لذلك

$$\cos \phi_1 = \cos \phi_2 = \cos \phi$$

$$S_1 \cos \phi = S_2 \cos \phi$$

$$P_1 = P_2 \quad (10.4)$$

لهذا فإن القدرة الداخلة تساوي القدرة الخارجة ، وهذا يتفق مع النتيجة المتوقعة من المحول المثالي .
 مثال (1:10) محول مثالي ذو 25 كيلوفولت أمبير ، يحوي ملفه الابتدائي على 500 لفّة
 وملفه الثانوي على 40 لفّة . ربط الملف الابتدائي الى مصدر ذي 3 كيلوفولت و 50 هرتز ، احسب :
 أ . التيارات الابتدائية والثانوية عند الحمل التام (Full load) .
 ب . الق . د . ك . الثانوية .
 ج . تدفق اللب الاقصى .



شكل 4-10

$$I_1 = \frac{S}{V_1} = \frac{25 \times 10^3}{3 \times 10^3} = 8.33 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{I_1 N_1}{N_2} = \frac{8.33 \times 500}{40} = 104.2 \text{ A}$$

$$E_2 = E_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} = V_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} = 3000 \times \frac{40}{500} = 240 \text{ V}$$

$$E_1 = 4.44fN\Phi_m$$

$$3000 = 4.44 \times 50 \times 500 \times \Phi_m$$

$$\Phi_m = 27 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$= 27 \text{ mWb}$$

مثال (2:10) محول ذو طور واحد يحول 22/415 ألف فولت بتردد 50 هرتز . مساحة لبه الصافية تساوي 10000 ملم² ، وأقصى كثافة للتدفق مقدارها 1.3 تيسلا . خمن عدد اللفات اللازمة لكل ملف .

$$N_1 = \frac{E_1}{4.44f\Phi_m} = \frac{415}{4.44 \times 50 \times 1.3 \times 10000 \times 10^{-6}} = 143.6 \text{ لفّة}$$

وحيث ان عدد اللفات يجب ان يكون رقماً كاملاً لذلك

$$N_1 = 144 \text{ لفّة}$$

$$N_2 = \frac{E_2}{E_1} \cdot N_1 = \frac{22000 \times 144}{415} = 7620 \text{ turns}$$

وهنا يجب ملاحظة انه في حسابات من هذا النوع فان عدد لفات الملف ذي الفولتية الواطئة يجب أن يخمن أولاً ، وذلك لأن تصحيح عدد اللفات يكون أكثر أهمية للعدد الصغير منه للكبير ، وعند تقريب عدد الملفات لأعطاء رقم كامل يجب أخذ الرقم الاعلى وبعبكسه فاننا سنتجاوز كثافة التدفق العظمى المسموح بها .

3-10 المحول العملي

يختلف المحول العملي عن المحول المثالي بنقطتين : هما حاجته الى تيار تمغظ ووجود فقدان فيه . من النقطه الاولى ينتج ضرورة وجود تيار على الدوام في الملف الابتدائي لمغطة اللب . وعند ربط حمل الى الملف الثانوي لمحول فان تياراً اضافياً يسري في الملف الابتدائي لابقاء توازن الـ I_1 في اللب . لذلك فان التيار الابتدائي الكلي يحوي الآن على مركبتين هما التيار اللازم لمغطة اللب و تيار الحمل ، وحيث ان التيار الابتدائي قد مثل بـ I_1 فان رمزاً آخر يجب أن يعطى للتيار المطلوب لابقاء توازن الـ I_1 . د . غ . ، ولنفرض انه يساوي I_2 والذي يوصف بأنه I_2 المرجع (I_2 referred) . من العلاقة (10-3) ينتج أن :

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (10.5)$$

ان التيار الذي يمغظ اللب يبقى سارياً على الدوام ، كما انه يحافظ على قيمة ثابتة مهما كان الحمل الثانوي . ونظراً لأنه بالامكان ملاحظته بمفرده عند عدم وجود حمل مربوط الى الملف الثانوي ، لذلك فهو يدعى بالتيار اللاحمي I_0 (No load current)

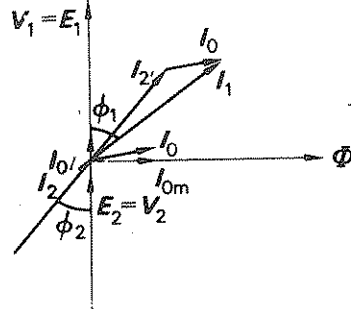
$$I_1 = I_0 + I_2 \quad (10-6)$$

يحوي التيار اللاحمي بين طياته مركبتين : اولاهما تيار التمغظ I_{0m} والذي ينتج تدفق اللب ويكون تياراً متفاعلاً نقياً وبنفس الطور مع التدفق الذي أنتجه . أما المركبة الثانية فهي مركبة فعالة ناتجة من فقد التخلفية وفقد التيار الدوامي في اللب . ويرمز لهذه المركبة بـ I_{0l} . يعطى التيار اللاحمي الكلي بالمجموع الطوري للمركبات

$$I_0 = I_{0m} + I_{0l} \quad (10-7)$$

وهنا يجب ان نلاحظ انه بالرغم من الاعتراف بوجود التيار اللاحمي فانه لا يلعب على الدوام دوراً في حل المسائل اللازمة . ففي كثير من المحولات وبالاخص محولات القدرة لا يؤثر حذف التيار اللاحمي تأثيراً ملموساً على صحة الحل عند وجود الحمل نظراً للصغر النسبي للتيار اللاحمي .

وعلى فرض عدم وجود فقدان في الملفات فان E_1 تساوي V_1 و E_2 تساوي V_2 . فاذا كان هناك هبوطاً بالفولت داخل الملفات بسبب مقاومة موصل اللفات او بسبب مفاعلة التسرب الناتجة من عدم كمال الاقتران المغناطيسي لللفات فان هذه العلاقات لا تكون صحيحة . يبين الشكل 5-10 المخطط

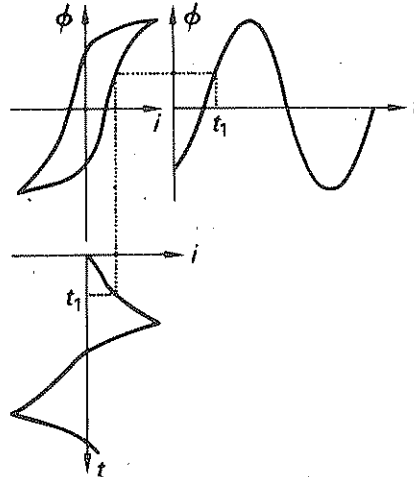


شكل 5-10 مخطط طورى لمحور عملي بدون هبوط في فولتية الملفات

الطوري مرسوماً على فرض عدم وجود هبوط بالفولت في الملفات ، وهنا يجب أن نلاحظ أن $E_2 < E_1$ سبق أن بينا انهما بنفس الطور نظراً لأن هذه هي الطريقة الاعتيادية لربط الملفات .

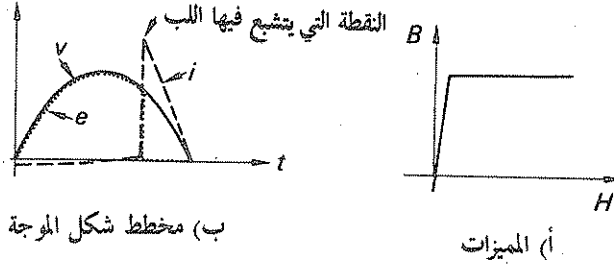
4-10 مغنطة اللب

سبق ان بينا انه اذا كانت الفولتية المسلطة عبر ملف ملفوف على لب حديدي جيبيية ، فان معدل تغيير تدفق اللب يجب أن يكون جيبياً أيضاً . ويتبع من ذلك ان التدفق يجب أن يتغير جيبياً هو الآخر . الا ان ذلك لا يعني ان التيار الذي انتج هذا التدفق يتغير جيبياً أيضاً . فاذا رسم منحنى الـ B-H ثانية بشكل منحنى $i - \phi$: فان العلاقة بين التدفق والتيار يمكن اشتقاقها كما في شكل 6-10 . وهذا التغيير في المقياس للاحداثيات مقبول نظراً لأن Φ تساوي BA ، حيث ان مساحة المقطع العرضي لللب A ثابتة وكذلك $H/N = i$ حيث l هي طول اللب و N هي عدد لفات الملف وكلاهما ثابتان . ويمكن اشتقاق شكل موجة التيار باستخدام هذا المنحنى برسم القيم الآتية للتدفق مع التيار . وبالرغم من ان الغرض من هذا الكتاب لا يمتد الى توضيح تحليل شكل الموجة هذه ، فانه يكفي الإشارة إليها فقط . ونظراً لأنها ليست جيبيية الشكل فلا يمكن قياسها باستخدام أجهزة القياس الاعتيادية كأجهزة القياس التي تعمل بالحديد المتحرك ما لم تصحح القياسات التي نحصل عليها وفق ترجمة صحيحة .



شكل 6-10 شكل موجة تيار التمغنط

فعلى سبيل المثال اذا ربط ملف ذي لب مغناطيسي حديدي على التوازي مع متسعة وقيست تيارات الفرع والمصدر باستخدام اميتر ، فان تيار المصدر لا يساوي المجموع الطوري للتيارات ، نظراً لأن كل من تيار الفرع وتيار المصدر غير جيبيين وهذا هو مصدر خطأ شائع في القياسات المتعلقة بالملفات ذات اللب الحديدي المغناطيسي . وأخيراً يجب ملاحظة تأثير تشبع اللب على الق . د . ك . المعارضة .
 فلنفرض ملفاً ذا لب مغناطيسي حديدي يحوي أيضاً على بعض المقاومة في لفاته فاذا كان اللب ذو مميزات B-H مثالية ، كما مبين في شكل 7-10 أ ، فان الق . د . ك . العكسية ستعكس الفولتية المساطة على الدوام ، على فرض عدم تجاوز كثافة تدفق نقطة الركبة (knee point) . الا انه عند تجاوز

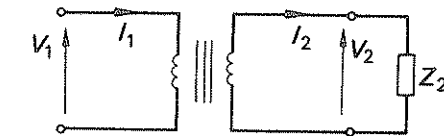


شكل 7-10 تأثير التدفق المفرط في لب حديدي مغناطيسي مستخدم في مكائن التيار المتناوب

قيمة كثافة التدفق هذه ، فان التدفق في اللب يمكن زيادته اذا زيد تيار الملف بكمية كبيرة جداً . وهذه الزيادة تحدد بمقاومة الملف ، ولذلك فان تدفق اللب لا يمكن ان يتغير بالسرعة المطلوبة . وهذا ينتج انهياراً في الق . د . ك . العكسية . بين الشكل 7-10 ب أشكال الموجات المناسبة . ولغرض تجنب هذا التأثير فان المحولات والمكائن ذات اللب المغناطيسي الحديدي المشابه تصمم بحيث لا تزيد كثافة تدفق اللب فيها على القيمة المناسبة لنقطة الركبة .

5-10 تحويل الممانعة

لنفرض تأثير الحمل الثانوي كما يلاحظ من جهة الملفات الابتدائية ، حيث يمكن تحليل ذلك بالرجوع الى المنظومة المبينة في شكل 5-10 . وكما سبق ذكره فان اشارة الفتحة تعني بأن الكمية قد حولت الى ملف المحول الآخر .



شكل 8-10 محول يغذي حملاً في الملف الثانوي

$$Z_2 = \frac{V_2}{I_2}$$

$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1}$$

$$= V_2 \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{1}{I_2} \cdot \frac{N_1}{N_2}$$

$$= \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot Z_2$$

$$= Z_2'$$

$$Z_1 = Z_2' = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot Z_2 \quad (10.8)$$

ونظراً لأن المحول مثالي

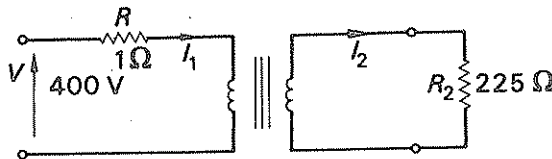
$$Z_1 \cos \phi = Z_2' \cos \phi = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot Z_2 \cos \phi$$

$$R_1 = R_2' = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot R_2 \quad (10.8.1)$$

وكذلك

$$X_1 = X_2' = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \cdot X_2 \quad (10.8.2)$$

مثال (3-10) محول ذو طور واحد ، يحول من 2000/400 فولت ، مقاومة قيمتها 1 أوم
ربطت على التوالي مع الملفات الابتدائية وقد ربط مقاوم قيمته 225 أوم عبر الملف الثانوي . احسب
التيار الابتدائي حينما تجهز الدائرة من مصدر فولتية 400 فولت .



شكل 9-10

$$R_2 = 225 \Omega$$

$$R_2' = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot R_2 = \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^2 \cdot R_2 = \frac{400^2}{2000^2} \times 225 = 9 \Omega$$

$$R_{in} = R + R_2' = 1 + 9 = 10 \Omega$$

$$I = \frac{V}{R_{in}} = \frac{400}{10} = 40 \text{ A}$$

6-10 الفقد في المحول

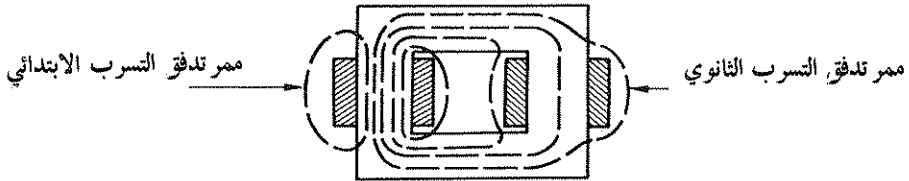
هناك ثلاث مصادر لفقد القدرة في المحول ، وقد سبق ذكرها جميعا وهي :

- 1- فقد التخلفية
- 2- فقد التيار الدوامي
- 3- فقد الملفات $i^2 R$

سبق، وان ناقشنا اول هذه النقاط في الفقرة 8-4 . ويمكن تقليل تأثير ذلك باستعمال أحسن نوعية من الحديد الصلب مع الأخذ بنظر الاعتبار ان الحديد الصلب الجيد سعره اعلى . أما فقد التيار الدوامي فيمكن تخفيضه لاقبل حد ممكن باختيار الحديد الصلب ، كما سبق ذكره في الفقرة 13-5 ، اضافة الى استخدام الرقائق . واخيراً فان فقد الملفات $i^2 R$ يعود الى مقاومة موصلات الملفات ، والتي بالرغم من انها صغيرة فانه لا يمكن اهمالها على الدوام . وفي المحولات الحديثة قد يشكل الفقد $i^2 R$ تسعين بالمائة من الفقد الكلي .

7-10 تسرب التدفق في المحول

لتفرض ثانية الدائرة المغناطيسية لمحول بسيط كالمبين في شكل 10-10



شكل 10-10 دائرة مغناطيسية لمحول بسيط

ان الجزء الاساسي من تدفق التمهبط الناتج من التيار الاحملي يمر خلال كل من الملفين الابتدائي والثانوي موصلاً اياهما . الا انه ليس كل التدفق يبقى ضمن الممر المغناطيسي الحديدي حيث ان جزءاً منه يشرذ في الوسط المحيط والذي يكون على الاكثر الهواء او الزيت . ويتم ذلك بسبب كون الوسط المحيط ذا

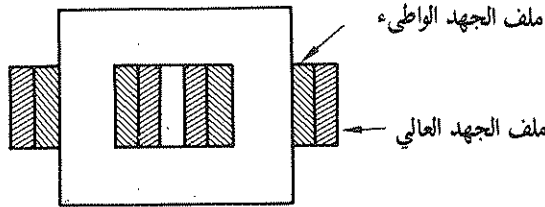
انفاذية محددة بالرغم من انها اقل بكثير من انفاذية اللب ، لذلك فان جزءاً صغيراً من التدفق يشرد ماراً بهذا الممر الخارجي ، ويسمى هذا التدفق بتدفق التسرب . ولا يخدم هذا التدفق اي غرض مفيد نظراً لعدم توصيله الملف الثانوي مع الملف الابتدائي .

عندما يشتغل المحول بحمل معين ، فان تشكيلة التدفق تحور لتكون كاليمين في شكل 10-10 حيث يلاحظ ثانية وجود تسرب في التدفق المنبثق من الملف الابتدائي والذي يسمى بتدفق التسرب الابتدائي . الا ان التيار الثانوي يولد ق. د. غ. . تعاكس التدفق الرئيسي ، وتسبب انحراف جزء من التدفق نحو ممرات التسرب الثانوي ، لذلك يتكون تدفق يقطع الملف الثانوي فقط ويسمى ذلك بتدفق التسرب الثانوي .

ان تأثير هذين التدفقين التسريبيين هو توليد محاذة ذاتية ، لذلك فان كلاً من الملفين يمكن تمثيله لمفاعلة حثية ذاتية . وهذا لا يخدم اي غرض مفيد لكنه يعمل على احداث هبوط فعال بالفولت ضمن الملفات ومن ثم يخفض قليلاً من قيمة التدفق الرئيسي المفيد كلما زاد الحمل . أما تدفقات التسرب فتتناسب عملياً مع التيار المار في ذلك الملف . ان تأثير تسرب التدفق على نسبة التحويل هو نقصان فولتية الاطراف الثانوية مع ثبوت الفولتية المسلطة على الملف الابتدائي .
ولغرض تقليل التسرب لاقبل حد ممكن تصنع المحولات باحد التصميمين التاليين :

التركيب ذو اللب الحديدي (Core-type)

ان هذا التركيب هو تحويل للمحول البسيط ، حيث يحوي على دائرة مغناطيسية واحدة كما مبين في شكل 11-10 . ومن الاعتيادي ان تلف نصف اللغائف على كل من الذراعين . وتلف للغائف

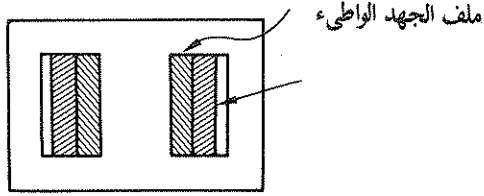


شكل 11-10 محول ذو تركيب حديدي اللب

الجهد الواطيء قريبة من اللب للمحافظة على المتانة الميكانيكية ، نظراً لان هذه الملفات تحمل تيارات عالية ، ومن ثم تتعرض الى قوة دفع عالية فيما بين الموصلات الحاملة للتيار . كما ان وضع اللغائف بهذا الشكل يقلل من تدفق التسرب

التركيب ذو الدرع shell-type

تحتوي هذه الطريقة على استخدام دائرة مغناطيسية مزدوجة كما مبين في شكل 12-10 ، والذي يبين كيفية لف اللغائف مركزياً بشكل كامل على الذراع الوسطية .
واخيراً يجب ملاحظة ان تدفق التسرب بشكل جزءاً صغيراً جداً من التدفق الكلي ، ففي المحولات الحديدية يمكن ان يزيد عامل الاقتران على 0.999 عادة .



شكل 12-10 محول التركيب ذو الدرع

مسائل على المحولات

1. محول ذو طور واحد وتحويل 250/3300 فولت بتردد 50 هرتز ، يحوي لبا مساحة مقطعه العرضي الفعال يساوي 13000 ملم² وعدد لفات الملف الفولتية الواطئة يساوي 80 لفة . احسب :

أ . عدد الملفات الملف الفولتية العالية .

ب . اكبر كثافة تدفق في اللب .

إذا جهز المحول حملاً مقداره 25 كيلوواط بعامل قدره متخلف مقداره 0.8 حينما يربط الى مصدر ذي 3.3 كيلو فولت ، احسب القيم التقريبية للتيارين الابتدائي والثانوي .

1056, 1.08 T, 125 A, 9.5 A

2. اوصف تشغيل المحول المثالي ذي الطور الواحد في الوضع اللاحملي وفي وضع التحميل . ثم وضح لكل حالة اين تحدث الفقدود الفعالة في المحول العملي . ثم وضح كيفية حدوئها . محول ذو طور واحد و 20 كيلو فولت أمبير نسبة لفاته 1/44 . إذا احتوى الملف الابتدائي على 4000 لفة وربط الى مصدر جيبي ذي 11 كيلو فولت و 50 هرتز احسب للحمل التام ما يلي :

أ . القيمتين التقريبيتين لتياري الملفين الابتدائي والثانوي .

ب . أقصى قيمة لتدفق اللب .

1.8 A, 79.2 A, 12.4 mWb

3. محول ذو طور واحد نسبته 10/1 يحوي ملفه الثانوي على 1000 لفة . ربط الملف الابتدائي الى مصدر جيبي ذي 25 فولت فإذا كان أقصى تدفق في اللب يساوي 2.25 ملي

ويبر . احسب :

أ . تردد المصدر

ب . عدد لفات الملف الابتدائي

ج. الفولتية الثانوية عبر دائرة مفتوحة

250 V لفة 100 Hz, 25

4. فرن حثي لصهر الألمنيوم ذو طور واحد وفولتية 2.4 كيلو فولت وتتردد 50 هرتز يحوي 3560 لفة في ملف الابتدائي ملفوفة على لب محمول . ويحوي الملف الثانوي على سبيكة النيوم تحوي على قناة حلقيية من الطابوق الناري الملفوف حول اللب . فإذا كانت مقاومة حلقة الألمنيوم تساوي 0.287 ميكرواوم متر ومتوسط طولها 2.5 متر ومساحة مقطعها 17000 ملم² تخمن قيم التيار الابتدائي والقدرة المفقودة في الألمنيوم . إذا كانت مساحة المقطع العرضي تساوي 2500 ملم² تخمن كثافة التدفق الأقصى في اللب .

45 A, 108 kW, 1.22 T(SANCAD)

5. يحتاج محول في الوضع اللاحملي الى تيار تمغظ ، ولكنه فيما عدا ذلك يتصرف كمحول مثالي . حينما يكون التيار الثانوي 100 أمبير بعامل قدرة متخلف قيمته 0.866 كان التيار الابتدائي 11 أمبير بعامل قدرة متخلف قيمته 0.788 . فإذا كانت الفولتية الابتدائية تساوي 200 فولت ماقيمة الفولتية الثانوية ؟

20 V (SANCAD)

6. محول ذو طور واحد ربط الى مصدر جيبي فولتية 240 فولت حينما كان التيار الثانوي 50 أمبير بعامل قدرة سابق مقداره 0.8 كان التيار الابتدائي 4.62 أمبير بعامل قدرة سابق مقداره 0.974 . وحينما كان التيار الثانوي 50 أمبير بعامل قدرة متخلف قيمته 0.8 كان التيار الابتدائي 6.72 أمبير بعامل قدرة متخلف قيمته 0.67 . احسب الفولتية الثانوية على فرض أن المحول مثالي .

24.2 V

7. حمل ذو ممانعة ثابتة $R' = 16 \Omega$ و $L' = 38 \text{ mH}$ يغذي من مصدر فولتية ثابتة من خلال ملف ابتدائي لمحول مثالي نسبة لفاته 10:1 كما في شكل 13.10 . ما قيمة القدرة المفقودة في الحمل اذا كان الطرفان P و Q :

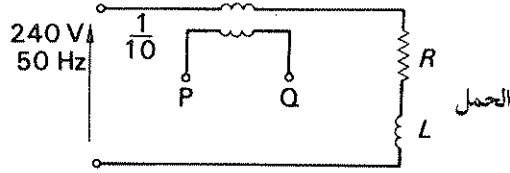
أ. موصلان بدورة قصر

ب. مفتوحى الدورة

ج. موصل بينهما مقاوم قيمته 1150 أوم

د. موصل بينهما متسعة قيمتها 2.65 ميكروفراد .

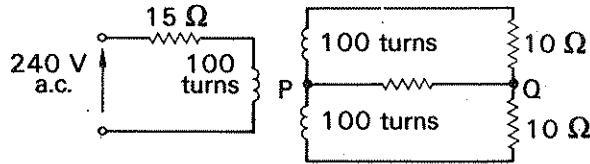
12 A, 0, 8 A, 15 A (SANCAD)



شكل 13-10

8. اشتق من المبادئ الأولية المقدار الذي يمثل ممانعة الإدخال (Input impedance) لمحول مثالي ذو طور واحد عند ربط ممانعة قيمتها Z_2 عبر طرفي ملفه الثانوي . (ممانعة الإدخال تمثل بدلالة Z_2) .
 محول مثالي عدد لفاته الابتدائية 100 والثانوية 200 . وقد أخذ من ملفه الثانوي توصيلة وسطية (centre tap) . استخدم المحول في الدائرة المبينة في شكل 14-10 . وضح لماذا (صفر = V_{PQ}) ثم احسب القدرة الكلية المفقودة في المقاومين اللذين قيمتهما 10 أوم .

(SANCAD)



شكل 14-10

الفصل الحادي عشر

النظرية الموجلة للمكائن

تعمل كافة المكائن الكهرومغناطيسية وفق عدد من المبادئ الاساسية المشتركة ، ويمكن تطبيق هذه المبادئ سواء كانت الماكنة تعمل بالتيار المتناوب او بالتيار المستمر وسواء كانت الماكنة تعمل كمحرك ام كمولدة ام كمغير (Converter) . او حينما تعمل الماكنة تحت ظروف وضع الاستقرار (Steady state) او تحت الوضع الزائل (Transient) . ويعالج هذا الفصل ذلك بصورة رئيسية باستخدام المكائن الخطية (Linear Machines) البسيطة لتوضيح ذلك ، بينما تعالج الفصول اللاحقة المكائن الدوارة والتي هي مكائن كهرومغناطيسية أكثر تعقيداً ، بالرغم من انها تعمل وفق نفس المبادئ الاساسية .

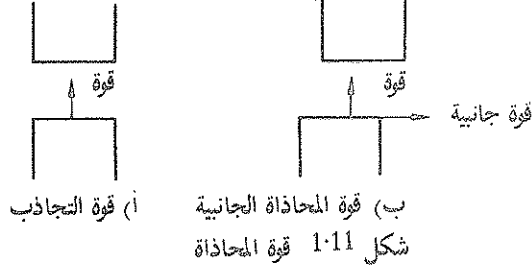
1-11 عملية التغيير في الماكنة

الماكنة الكهرومغناطيسية هي تلك الماكنة التي توصل نظام الطاقة الكهربائي بنظام طاقة آخر ، بنهية وسط قابل للانعكاس يصلح لسريان الطاقة في مجالها المغناطيسي . لذلك فان المجال المغناطيسي هو واسطة الاقتران بين النظامين ، وهو واسطة التوصيل المتبادل حيث تخزن الطاقة المحولة من أحد النظامين الى الآخر بشكل مؤقت في المجال ، ثم تطلق نحو النظام الآخر . ان نظام الطاقة المقترن مع نظام الطاقة الكهربائية يكون عادة نظاماً ميكانيكياً . وتكون وظيفة المحرك فيه هي تحويل الطاقة الكهربائية بينما تكون وظيفة المولد هي تغيير الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية . أما المغيرات فتحول الطاقة الكهربائية من نظام الى آخر كما هي الحال في المحول . ونظراً لأن الكثير من المكائن لا تتعامل مع كميات كبيرة من الطاقة لذلك تدعى المكائن التي تشتغل بمستويات قدرة منخفضة جداً بمحولات الطاقة (Transducer) وبالأخص عند تجهيز الاشارات (Signals) التي تشغل أجهزة السيطرة الالكترونية . ان مناقشة انظمة الطاقة الميكانيكية تستوجب توفر قوة ميكانيكية يصاحبها حركة موضعية في نقطة تأثيرها ، ويمكن للأنظمة الكهرومغناطيسية انتاج قوة ميكانيكية باحدى الطريقتين التاليتين :

1. بالمحاذاة (Alignment)

2. بالفعل المتداخل (Interaction)

ان قوة المحاذاة اعلاه يمكن توضيحها بالوضعية المبينة في الشكل 1-11 . ففي الشكل أ يقع القطبان المصنوعان من مادة مغناطيسية حديدية احدهما مقابل الآخر . لذلك يمر التدفق من أحدهما الى الآخر . اما السطوح التي يمر من خلالها التدفق، فيقال عنها انها سطوح ممغطة (Magnetized Surfaces) والتي تجذب نحو بعضها كما مبين في الشكل .



ستبين فيما بعد بأن قوة المحاذاة تكون في أي اتجاه تزداد فيه الطاقة المغناطيسية المخزونة بتلك الوضعية . ففي الحالة الاولى تحاول جلب الاقطاب نحو بعضها نظراً لأن ذلك يقلل من المعاوقة للفجوة الهوائية للدائرة المغناطيسية ، ومن ثم تزيد من التدفق، مما ينتج عنه زيادة الطاقة المخزونة . ان مبدأ زيادة الطاقة المغناطيسية المخزونة مهم جداً وهو السور الذي تستند عليه النظرية الموحدة للمكانن .

اما في الحالة الثانية المبينة في شكل 1-11 ب فلا يقع القطبان مقابل بعضهما ، لذلك تحاول محصلة القوة الحصول على أكبر ما يمكن من طاقة مغناطيسية مخزونة بفعل يتكون من مركبتين :

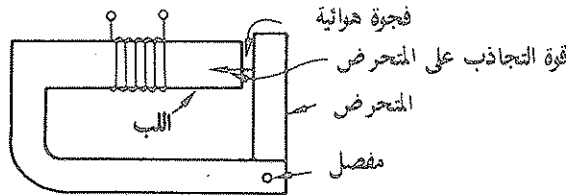
أ . بتجاذب القطبين نحو بعضهما كما سبق .

ب . بمحاذاة القطبين جانبياً .

اذا تحرك القطبان جانبياً فإن مساحة المقطع العرضي للفجوة الهوائية تزداد ومن ثم تنقص المعاوقة منتجة زيادة في الطاقة المغناطيسية المخزونة كما سبق ذكره .

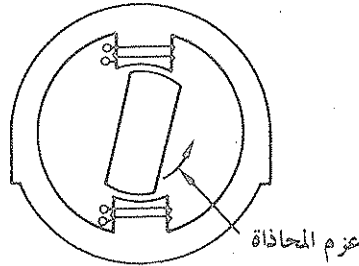
ان كلاً من الفعلين يحاولان محاذاة القطبين نحو نقطة خزن أقصى طاقة ممكنة . أي حينما يكون القطبان يتماس مع أعظم مساحة تماس . وهنا يجب ملاحظة ان قوة المحاذاة لا تعمل بالضرورة باتجاه خطوط التدفق .

ان كثيراً من الادوات الكهربائية يمكن استخدامها لتوضيح مبادئ قوة المحاذاة . وربما يكون القاريء أكثر الماماً بالمغناطيس الدائم وجذبه المواد المغناطيسية الحديدية . ويوضح الشكل 2-11 قوة المحاذاة التي تنتج حركة خطية بجهاز كهرومغناطيسي كالمرحل (Relay) .



شكل 2-11 مرحل كهرومغناطيسي

فحينما يزود ملف المرحلة بالطاقة (Energised) فان تدفقاً يتكون في لب المرحلة وفجواته الهوائية ، لذلك فان السطوح المجاورة للفجوة الهوائية تتمغنط وتنجذب ومن ثم تسحب صفيحة المتعرض (Armature) بالاتجاه المبين ، وسنحلل المرحلة فيما بعد في الفقرة 8-11 . أما وظيفة المرحلة فهي تشغيل الازرار حيث يستخدم بكثرة في بدالات التلفزيونات ويمكن استخدام قوة المحاذاة ايضاً لانتاج حركة دورانية : كماسفي المحرك المناويسي (Reluctance Motor) والمبين في شكل 3-11 حيث تدعى القطعة التي تدور بالدوار (Rotor) . والتي



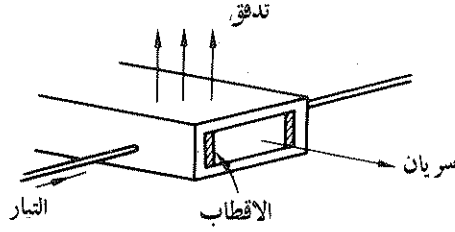
شكل 3-11 محرك معاو في

يسلط عليها قوتان مركزيتان بعكس الاتجاهات ، ومن ثم يحذف أحدهما الآخر . يعانسي الدوار عزماً ناتجاً من مغنطة سطحي الدوار والقطب اللذان يحاولان محاذاة بعضهما البعض . ان عزم المحاذاة هذا يحدث في كل ماكينة دوارة لا تحوي على دوار اسطواني ، اي حينما يكون الدوار ناتئاً (Salient) كما في شكل 3-11 .

لقد سبق أن ناقشنا قوة الفعل المتبادل في الفصلين 4 و 5 هي أساس القوة المسلطة على موصل حامل للتيار والتي هي شكل آخر من أشكال مبدأ اعظم طاقة مغناطيسية مخزونة . وسناقش العلاقة بين هذه المبادئ بشكل تفصيلي فيما بعد في الفقرة 3-12 عند تحليل حالة الماكينة الدوارة المحتثة بطريقتين (Doubly-Excited Rotating Machine)

ان قوة الفعل المتبادل لها فائدة في أنها سهلة التطبيق . فحساب أو حتى تخمين الطاقة المخزونة في مجال مغناطيسي ذي وضعيات متعددة صعب ان لم يكن مستحيلاً . ولكن كثيراً من هذه الحالات يمكن معالجتها بالعلاقة $F = Bli$. ويتضمن ذلك حالة انحراف حزمة من الالكترونات بواسطة مجال مغناطيسي وليكن النبوية اشعة المهبط مثلاً .

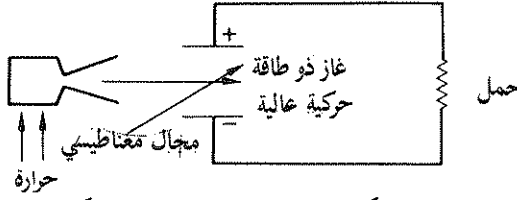
بالرغم من عدم وجود عدد كبير من الاجهزة التي تحتوي على قوة فعل متداخل تنتج حركة خطية فان هذا هو جزء من تكنولوجيا الماكائن الذي يزداد بسرعة نتيجة انتشار المحرك الحثي الخطي (Linear Induction Motor) يوضح الشكل 4-11 تطبيقات بسيطة لذلك . في المضخة الكهرومغناطيسية والتي تستخدم لتحريك المعادن السائلة بامرار تيار خلال المعدن بزوايا عمودية على اتجاه السريان المطلوب .



شكل 4-11 مضخة كهرومغناطيسية

يوضع مجال مغناطيسي متبادل بزوايا قائمة مع الاتجاهين الآخرين كما مبين في الشكل . لذلك يسايط قوة على الموصل الحامل للتيار والذي هو المعدن السائل ، ومن ثم يتكون فعل الضخ المطلوب . ولغرض تبيان عدم وجود حاجة لموصل ، لنفرض المولد المغناهيديرو ديناميكي (Magnetohydrodynamic) أو (MHD Generator)

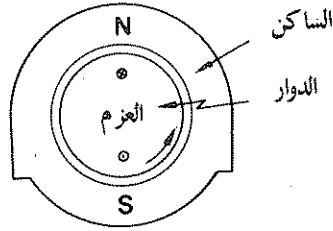
والذي يغير الطاقة الحرارية مباشرة الى طاقة كهربائية كما موضح بصورة مبسطة في شكل 5-11 فالحرارة تؤين (Ionizes) الغاز المقذوف من خلال فوهة صغيرة (Nozzle) والذي يحوي على طاقة حركية . عندما يصل الغاز تحت تأثير المجال المغناطيسي تنحرف الالكترونات الحاملة لطاقة



شكل 5-11 مولد مغناهيديرو ديناميكي

عالية نحو احد اللوحين جاعلة اياه سالب الشحنة . لذلك تسرى الالكترونات حول الدائرة الى الصفيحة الاخرى وتندمج مع ايونات الغاز التي انحرفت نحو اللوح بواسطة المجال المغناطيسي . هناك تطبيقات كثيرة تحوي قوة الفعل المتداخل التي تنتج حركة دورانية وهذه تضم المكائن التزامنية (Synchronous) والحثية . اضافة الى المكائن المعدلة (Commutator) والتي ستتطرق الى ذكرها بتفصيل اكثر في الفصول القادمة . تعمل هذه المكائن بنفس الاسلوب مع تغييرات بسيطة معطية مميزات مناسبة للتطبيقات الصناعية المطلوبة .

يبين الشكل 6-11 ماكينة بسيطة توضح المبادئ المذكورة ، فعند امرار تيار من خلال الملف تسلط قوة على كل من طرفي الملف منتجة عزما حول محور الدوران . وتحتاج المكائن العملية الى عدد كبير من الموصلات لكي يتكون عزم كاف لذلك ، ومن ترتيب الموصلات في مختلف المكائن بصورة مختلفة يمكن الحصول على أنواع مختلفة من المكائن المذكورة اعلاه وغيرها .



شكل 6-11 ماكينة دوارة توضح قوى الفعل المتداخل

ان هذه الامثلة هي فقط لتوضيح مجال الدراسة الذي تشمله نظرية الماكائن . ففي كل مثال هناك جهاز لتوصيل الانظمة في احد جهتيه نظام كهربائي وفي الجهة الاخرى ميكانيكي أو غير ذلك وبينهما مجال مغناطيسي يكون حلقة الوصل ذات الطرفين بينهما . وعندما يكون هناك سريان للطاقة فان الاجزاء الثلاثة تكون مشمولة على التعاقب . وهنا يجب أن نلاحظ أن رد الفعل في النظام الكهربائي عدا سريان التيار هو استحداثات الق . د . ك . في ذلك النظام . ان ناتج حاصل ضرب الق . د . ك . والتيار يحدد سرعة تغيير الطاقة الكهربائية .

قبل الشروع بتحليل تغيير الطاقة ، يجب أن نركز على كيفية اجراء هذا التحليل ، فهناك ثلاث طرق لمعالجة ذلك كل منها تأخذ بنظر الاعتبار عدم الكمال (imperfection) في الماكينة . فليس هناك ماكينة تعطي من الطاقة بقدر ما تأخذ ، حيث يدعى الفرق بالفقد ويحدث ذلك في الانظمة الكهربائية والميكانيكية والمغناطيسية على السواء .

2-11 طرق تحليل اداء (Performs well) الماكينة

ان عملية تغيير الطاقة الاساسية تحوي اقتران مجال مغناطيسي اضافة الى فعله ورد فعله على النظامين الكهربائي والمغناطيسي .

وهناك ثلاث طرق ممكنة لتحليل تبديل الطاقة :

الطريقة المسماة بالكلاسيكية (Classical) :

يعود تاريخ هذه الطريقة الى نهاية القرن التاسع عشر ، عندما وجد بان تشغيل ماكينة يمكن استنتاجه من دراسة الفقد فيها . وهذه الطريقة بسيطة بصورة عامة ولكن لها نوعان رئيسيان من المساويء . اولهما يتعلق تقريبا بصورة تامة بتشغيل الماكينة تحت ظروف وضع الاستقرار ، لذلك فان ظروف الاستجابة الزائلة تهمل تقريبا والتي تحدث عند تعجيل وتباطؤ الماكينة . أما ثاني مساوئها فان الفقد في كل ماكينة مختلفة . ويؤدي ذلك الى ضرورة تحليل كل نوع من الماكائن بشكل منفرد . وكتيجة لذلك فقد ركز الاهتمام سابقاً على نظرية مكائن التيار المستمر والماكائن الحثية ذات الثلاث أطوار والماكائن التزامنية مع اهمال معظم الماكائن الباقية . واذا ما طلب دراسة اي ماكينة أخرى فان منوال تشغيلها يجب توضيحه وتحليل كافة الفقد فيها . وهذه الطريقة مطولة وتحوي اعادة لا حاجة لها فهسي بذلك مضبعة للوقت .

طريقة الماكينة المعممة (Generalized Machine Approach) :

تعتمد هذه الطريقة على تحليل كامل لمجال الاقتران كما يشاهد من طرفي لفائف الماكينة . حيث تلاحظ الفجود كأستطرد لا بد منه في الطريق الرئيسي للتحليل . ويوصف مجال الاقتران بدلالة الخاتمة التبادلية . لذلك تفترض هذه الطريقة ان اي ماكينة هي عبارة عن منظومة من الملفات الموصلة مغناطيسيا . ولاداعي لاعارة أي اهتمام لكيفية تركيب الماكينة مبدئياً ، بل تفترض وكأنها موجودة كصندوق له نهايات لاجراء القياسات وايجاد اداء الماكينة . فالكميات المقاسة كالفولتية والتيار والقدرة والتردد والعزم وسرعة الدوران يمكن منها اشتقاق مقاومة ومحاثة الملفات وفي ضوء هذه القيم المشتقة يمكن تحليل الاداء في وضيحي حالة الاستقرار والحالة الزائلة .

مما تقدم يجب ان لا نتصور بان النظرية المعممة تعتبر تصميم وضعية الماكينة غير ضروري ، الا انها تفترض ان اعطاء تركيز كبير لتفصيلات التركيب يقلل من اهمية مبدأ تحويل الطاقة وربما الى اهماله . ان الطريقة المعممة قد نالت استحسانا كبيراً منذ نهاية الخمسينيات من هذا القرن . ونظرا لان هذه الطريقة ذات اهمية كبيرة فقد يستفسر المرء عن سبب طول المدة الى ان تم الاعتراف بها . ذلك لأن الصعوبة التي جابهت استخدامها مبدئياً هو تعقد الرياضيات التي تحويها . وبالرغم من ان التعقيد الاولي قد بقي كما هو ، الا انه ما ان يتم تغيير المعاملات الرياضية بشكل مناسب فانه بعد ذلك لا يستدعي اي اعادة ، ويمكن تحويل نتيجة هذه الخطوة الاولية بصورة منفردة لتحليل أساليب التشغيل ناهيك عن تطبيقها على معظم أنواع الماكائن . لذلك يكون تحليل الماكائن الكهروميكانيكية قد تم اجراءه بشكل عام . وتعالج الماكينة المنفردة باجراء فرضيات تبسيطية في نهاية التحليل . أما تأثير النظرية فهو لتركيز الاهتمام على الخواص المشتركة بين كافة الماكائن .

الطريقة الموحدة (Unified Approach) :

تعترف هذه الطريقة بالفوائد التي حوتها طريقة الماكينة المعممة في ان المبادئ الاساسية لتشغيل الماكائن مشتركة . وحيث ان الرياضيات يمكن ان تمنع اظهار هذه المبادئ للمهندس الذي يعالج الموضوع لأول مرة . لذلك فان الطريقة الموحدة تحاول توضيح مبادئ التشغيل ببساطة اكثر ، ولكن على حساب امكانية الحصول على تحليل كامل للماكائن المنفردة مباشرة . وعلى الرغم من ذلك فاذا ما تم امام المهندس بالمبادئ ، فانه يمكنه بعد ذلك المضي نحو اي من الطريقتين السابقتين بفهم واضح لاغراض تحليل اداء الماكينة .

ونظرا لان هذا الكتاب وضع ككتاب للمبتدئين ، لذلك يجب ان يركز على الطريقة الاخيرة حيث لانهم هذه الطريقة بالعناصر الخفية لمجال الاقتران ولكن بطاقة المجال . اي انها تنظر الى الماكينة من الفجوة الهوائية وليس من الاطراف . ويحوي اسلوب العرض على خطورتين :

- 1- الحصول على علاقة رياضية للطاقة المخزونة في مجال الاقتران بدلالة المتغيرات الكهربائية ووضعها الاجزاء الميكانيكية .
- 2- البحث عن الطريقة التي تتأثر بها الحدود الكهربائية وطاقة المجال بالتغيير في وضعية الاجزاء الميكانيكية .

وقبل المضي في اسلوب البحث هذا نجد من الضروري التركيز على بعض الدوائر المغناطيسية ذات العلاقة

3-11 طاقة المجال المغناطيسي

سبق ان بينا في الفقرة 7-5 (صفحة 138) ان الطاقة في المجال المغناطيسي تعطي بالمعادلة:

$$W_f = \frac{1}{2} Li^2$$

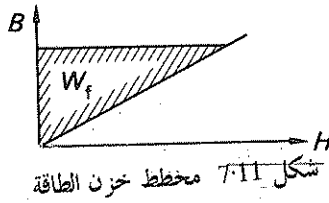
وهناك عدداً من الطرق التي يمكن بها تمثيل الخاتمة :

$$L = \frac{N\phi}{i} = \frac{\psi}{i} = \frac{N^2}{S} = \frac{N^2 \mu_0 \mu_r A}{l}$$

وهذه العلاقات يمكن تعريضها بمعادلة الطاقة لكي تعطي

$$W_f = \frac{1}{2} i\psi = \frac{1}{2} F\phi = \frac{1}{2} S\phi^2$$

وهنا يجب ان نلاحظ ان كافة هذه العلاقات للطاقة تعتمد على ان التدفق والـ ϕ يتناسبان طردياً اي ان الخاتمة تكون ثابتة . وهذه الحالة محددة فقط في حالة الهواء والتي هي اهم حالة في المكائن الكهربائية . تكون كثافة الطاقة في بعض الاحيان اكثر اهمية ، ففي برهان العلاقة لتفقد التخلفية في اللب المغناطيسي ، سبق ان بينا بان الطاقة المخزونة تمثل بالمساحة المضللة في منحنى $B-H$. وذلك كما موضح في شكل 7-11 . وفي حالة الفجوة الهوائية تكون مميزات $B=H$ خطاً مستقيماً حيث تكون الطاقة المخزونة وفق المعادلة



$$W_f = \frac{1}{2} BH \times (\text{حجم الفجوة الهوائية})$$

واذ كانت الفجوة الهوائية ذات مساحة مقطع عرضي يساوي A وطول l

$$\begin{aligned} W_f &= \frac{1}{2} BH \times Al \\ &= \frac{1}{2} F\phi \end{aligned}$$

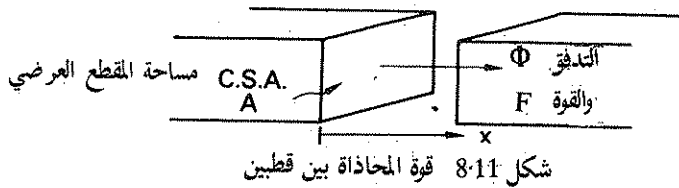
لذلك فان كثافة الطاقة المخزونة تعطى بالمعادلة

$$\begin{aligned}
 w_f &= \frac{1}{2}BH \\
 &= \frac{\mu_0 H^2}{2} \\
 &= \frac{B^2}{2\mu_0}
 \end{aligned}
 \tag{11.1}$$

وهنا نلاحظ ان هذه المقادير قد اعطيت للقيم الآتية وليس لظروف وضع الاستقرار . الا ان ذلك على الدوام لا يعبر اهمية الى بعض الكميات التي يمكن ان تكون متغيرة وعلى الاخص كثافة التدفق B وقوة التمعط H والمخافة L والتي هي كميات متغيرة . لذلك فان الكميات الآتية محتواة في هذه الحالات .

4:11 تحليل بسيط لقوة المخافة

لنفرض قوة المخافة بين قطبين لدائرة مغناطيسية كالمبينة في شكل 8-11 .



ولنفرض أيضاً وجود تدفق Φ في الفجوة الهوائية اذا اهملنا اي تهرب في التدفق ، لذلك فان كثافة التدفق المنتظمة في الفجوة الهوائية تعطى بالمعادلة :

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

لنفرض ان القطبين يمكن أن ينفصلان بمسافة قليلة مقدارها dx دون احداث اي تغيير في التدفق أو كثافة التدفق ، وهذا يمكن تحقيقه عملياً بشكل فعال ، ونظرا لوجود قوة ميكانيكية على الاقطاب فان الشغل الميكانيكي المبذول يساوي :

$$dW_M = F \cdot dx$$

لنفرض الآن أن اللب المغناطيسي مثالي ، اي أن انفاذيته لا نهائية . لذلك فهو لا يحتاج الى ق . د . غ . لتوليد المجال المغناطيسي فيه وعليه فان الطاقة المغناطيسية ستكون كلها مخزونة في الفجوة الهوائية لقد ازدادت الفجوة الهوائية بحجم مقداره $A \cdot dx$ ، ونظرا لان كثافة التدفق ثابتة ، لذلك فان كثافة الطاقة يجب أن تبقى دون تغيير ، وعليه فان الزيادة في الطاقة المخزونة :

$$dW_f = \frac{B^2}{2\mu_0} \times A \cdot dx$$

ونظراً لأن النظام مثالي ، وإن الحركة قد حدثت ببطء من نقطة سکون الى أخرى ، فإن هذه الطاقة يجب أن تكون ناتجة من الطاقة الميكانيكية الداخلة اي ان :

$$dW_M = dW_f$$

$$F \cdot dx = \frac{B^2 A}{2\mu_0} \cdot dx$$

$$F = \frac{B^2 A}{2\mu_0} \quad (11.2)$$

ومن المناقشة اعلاه يمكن اشتقاق علاقة أكثر اهمية وهي

$$dW_M = F \cdot dx$$

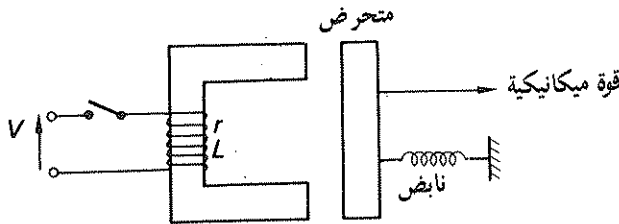
$$= dW_f$$

$$F = \frac{dW_f}{dx} \quad (11.3)$$

سيتبين فيما بعد أن العلاقة تكون صحيحة اذا بقي التدفق (أو صلية التدفق) ثابتة . الا أن المبادئ الموضحة هذه هي أكثر اهمية اي أن القوة تساوي معدل التغير في طاقة المجال المخزونة بالنسبة الى تشويه وضعية الاقطاب المغناطيسية الحديدية . ولغرض زيادة توضيح هذا المبدأ ، يجب التركيز على عملية تحويل الطاقة ، ففي الوضع المثالي المشروح اعلاه نجد أن الطاقة الميكانيكية حوت الى طاقة مخزونة في المجال . وللحصول على هذه الوضعية يجب استيفاء عدد من الشروط ، منها مثلاً أن تكون انفاذية اللب المغناطيسي الحديدي لا نهائية ، حيث أن ذلك لا يمكن تحقيقه من الناحية العملية ، مما يستوجب تحويل توازن الطاقة

5-11 موازنة الطاقة

لنفرض عملية تشغيل مرحل بسيط ذي متحرض منجذب كالمبين في شكل 9-11 . ولنفرض مبدئياً أن الزرکان مفتوحاً ولا يوجد أي طاقة مخزونة في المجال . وهذان الشرطان اعتياديان تماماً ومنطقيان .



شكل 9-11 مرحل متحرض منجذب

1. بعد غلق الزر يرتفع التيار بشكل أسي (exponential) بالطريقة التي اوضحت في الفصل الخامس . واذا كانت L_1 هي محاثة الملف عند الوضع الابتدائي للمتحرض ، فان معدل الصعود الابتدائي للتيار يساوي V/L_1 ان الطاقة الكهربائية من المصدر تفقد جزئياً في الفقد $i^2 R$ بملف التمهيط ، بينما تغير بقية الطاقة بشكل مخزونة في المجال المغناطيسي . وفي هذه الفترة يتعرض المتحرض الى قوة جذب . ولكن الموانع الميكانيكية تمنعه من الحركة وليس من غير الطبيعي أن نجد ان قيمة وضع الاستقرار لتيار الملف قد تم التوصل اليها قبل أن يبدأ المتحرض بالحركة .

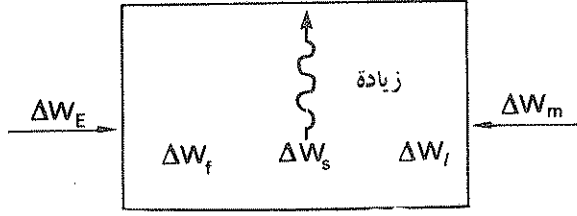
2. بقيمة مناسبة للتيار يبدأ المتحرض بالحركة عند قيمة مناسبة للتيار ، ويحدث ذلك حينما تكون قوة التجاذب f_E تعادل القوة المغناطيسية f_M . وفي خلال حركة المتحرض هناك عدد من التغيرات في النظام ، ففي الجانب الميكانيكي هناك حاجة للطاقة لسحب النابض (Spring) ولتحريك الحمل الخارجي ولتجهيز الطاقة الحركية اللازمة للاجزاء المتحركة . وفي نفس الوقت فان الفجوات الهوائية قد قلصت ، وبذلك تزيد من المحاثة لهذه الوضعية ، وهذا ينتج رد فعل في النظام الكهربائي بشكل ق . د . ك . محتنة ، والتي تحاول تقليص تيار الملف ، كما تسمح بتبديل الطاقة الكهربائية أي انهارد فعل للفعل .

3. لا يمكن للمتحرض أن يستمر بالحركة بشكل لا نهائي . ولكن على العكس فانه سيصل الى نهاية معينة ثم يقف . وهذا يسبب فقداً في الطاقة الحركية في النظام بشكل ضوضاء (Noise) واعوجاج الاقطاب والاهتزاز

4. بعد زوال الحركة في النظام فان المحاثة تصبح ثابتة بقيمة جديدة اعلى من السابق ، ولنفرض L_2 . ثم يزداد التيار اسياً لحد القيمة V/L_2 كما يلاحظ ان سرعة صعود التيار أقل من سرعة الصعود الابتدائية ، بسبب زيادة المحاثة زيادة كبيرة .

لذلك فان عمليات انتقال الطاقة متعددة ، وهي نموذجية للكثير من الماكائن . ففي الماكائن الدوارة لا يوجد توقف فجائي ، ولكن فيما عدا ذلك فان العمليات متشابهة . ولغرض معالجة مثل هذا العدد من العمليات بنفس الوقت فانه من الضروري تكوين توازن طاقة يحوي المفهوم الذي ستمسك به في تحليل الماكينة التالي .

لنفرض اولاً الانظمة الخارجية أي الانظمة الكهربائية والميكانيكية ، وحيث ان عملية التغيير يمكن أن تحدث بأي من الاتجاهين ، نفرض ان كلا من الطاقين الكهربائية والميكانيكية هما طاقتان داخلتان للنظام . ويتيح من ذلك ان الطاقة الخارجية هي طاقة داخلية سالبة من الناحية الرياضية . على أن يرمز لطاقين الكهربائية والميكانيكية W_E و W_M على التوالي . ولنفرض ثانياً هناك النظام الداخلي المحتوي على طاقة المجال المغناطيسي المخزون W_f وعلى الطاقة الميكانيكية المخزونة W_s وعلى الطاقة الحرارية غير المفيدة (الناتجة من الفقد والاحتكاك ... الخ) والتي هي الفقد W_f .
الوضعية موضحة تخطيطياً كما في شكل 10-11 .



شكل 10-11 مخطط موازنة الطاقة

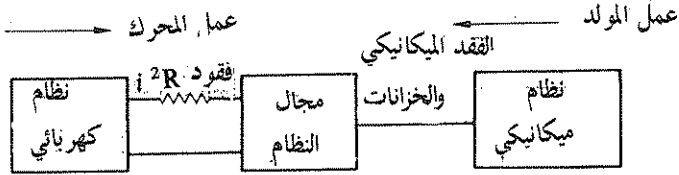
يمكن تمثيل توارن الطاقة بين أي وضعيتين للنظام كالآتي :

$$\Delta W_E + \Delta W_M = \Delta W_f + \Delta W_s + \Delta W_l \quad (11.4)$$

وبكلمة أخرى فان سرع او معدلات سريان الطاقة يمكن كتابتها بشكل

$$P_E + P_M = \frac{dW_f}{dt} + \frac{dW_s}{dt} + \frac{dW_l}{dt} \quad (11.5)$$

في هذا الشكل يمكن تبسيط الماكنة الاساسية الى شكل مثالي لحد ما يفصل بعض المقنودات كما مبين في شكل 11-11



شكل 11-11 مخطط توازن الطاقة المثالي

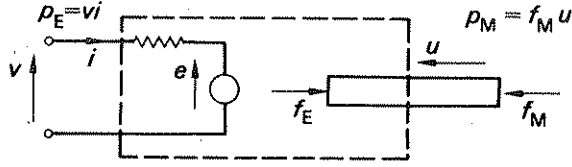
حيث ينتج من ذلك ان توازن الطاقة المثالي والاساسي يمكن كتابته بشكل :

$$dW_E + dW_M = dW_f \quad (11.4a)$$

ومن ثم فان توازن القدرة يمكن أن يكتب بشكل :

$$P_E + P_M = \frac{dW_f}{dt} \quad (11.5a)$$

وأخيراً فهناك الافعال وردود الافعال التي يجب أخذها بنظر الاعتبار كما مبين في شكل 12-11 .



شكل 12.11 الفعل ورد الفعل في نظام تغيير عملي

ففي الجانب الكهربائي تتعكس الفولتية المسلطة v برد فعل يشكل ق. د. ك. عكسية e فتكون القدرة الكهربائية :

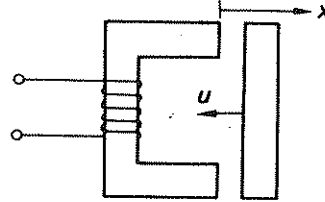
$$p_E = vi$$

بينما يكون معدل تغيير الطاقة الكهربائية يساوي ei وهذان المقداران متساويان فقط عندما يكون الفقد $i^2 R$ مهماً او عند اعتباره خارجاً عن عملية التغيير . كما في النظام المثالي المبين في شكل 11.11 .

اما في الجانب الميكانيكي فان قوة الادخال الميكانيكية f_M تعمل باتجاه تغيير النظام . وتتحرك باتجاه مشابه ولنفرض بسرعة تساوي u . ان رد الفعل لذلك هو القوة المتولدة مغناطيسياً f_E . وهاتان القوتان متساويتان ومتعاكستان فقط حينما يكون النظام الميكانيكي في وضع السكون او حينما يتحرك بسرعة منتظمة ، حيث ان وجود فرق بينهما يسبب تعجيلاً ، ومن ثم لا يمكن الوصول الى ظروف وضع الاستقرار . كما ان هناك فرق بسيط بين القوى حينما يتحرك النظام الميكانيكي نتيجة الاحتكاك ، الا ان ذلك يمكن اهماله في الوقت الحاضر .

6.11 توزيع الطاقة المغيرة والقدرة

هناك عدد من الطرق لتوضيح توزيع الطاقة والقدرة ، نذكر منها الطرق الثلاثة التالية والتي هي كافية لهذا التوضيح . لناخذ اولاً متحرض المرحل المنجذب المبين في شكل 13.11 . ويفترض في المرحل



شكل 13.11 تشغيل مرحل لمتحرض منجذب

انه عندما يزداد بالطاقة فانه يبتلع كما مر سابقاً وان حركة المتحرض تكون بالاتجاه $(-x)$. ونظراً لأن أطوال الفجوات الهوائية تتناقص ، فان محاثة النظام تزداد . وتكون السرعة كما يلي :

$$u = -\frac{dx}{dt}$$

وبعد ملاحظة هذه النقاط لناخذ الحل العام لتوازن القدرة . فبعد ملاحظة هذه النقاط يكون في أي لحظة

$$\begin{aligned}
e &= \frac{d\psi}{dt} \\
&= \frac{d}{dt}(Li) \\
&= L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{dt} \\
P_E &= ei \\
&= Li \cdot \frac{di}{dt} + i^2 \cdot \frac{dL}{dt} \\
W_f &= \frac{1}{2} Li^2 \quad \text{أيضاً} \\
\frac{dW_f}{dt} &= Li \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{dt} \\
P_E + P_M &= \frac{dW_f}{dt} \quad \text{وكذلك} \\
P_M &= -\frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{dt} \quad \text{لذا} \\
&= -\frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} \\
&= -\frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{dx} \cdot (-u) \\
&= \frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{dx} \cdot u \\
&= -f_E u \\
f_E &= -\frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{dx} \quad (11.6)
\end{aligned}$$

ان المعادلة (11.6) تمثل قوة رد الفعل الناتج من المجال المغناطيسي وليس القوة الميكانيكية . ان الفرق بين هاتين القوتين قد لوحظ اعلاه ونود هنا التأكيد عليه بسبب أهميته في هذه العلاقة والعلاقات التالية الاخرى :

ان علينا أن نلاحظ ان المقدار لسرعة تغيير الطاقة الميكانيكية P_M يكون سالباً . أي ان الماكنة تعمل كمحرك وان P_M هي قدرة الاخراج . وهذا يستوجب ان القوة الميكانيكية تعمل مبتعدة عن الماكنة وتكون سالبة . ان العلاقة (11.6) لا تبين بوضوح ان القوة سالبة القيمة ولكن ذلك يتوضح اذا تذكرنا ان المحانة تنقص بزيادة الفجوات الهوائية ويشمل اخراج القدرة الميكانيكية كلاً من المخزونات الميكانيكية (Mechanical storages) اضافة للقدرة المفيدة .

ان علينا ان نلاحظ ايضاً ان سرعة تغيير الطاقة الميكانيكية يساوي جزءاً من المقدار لسرعة تخزين الطاقة في المجال وتساوي التفاضل الجزئي الناتج من التيار الثابت . وينتج من ذلك ان المقدار لقوة رد الفعل يمكن أن تمثل كما يلي :

$$f_E = \frac{dW_f}{dx} \Big|_{i \text{ ثابت}} \quad (11.7)$$

لذلك فان المناقشة قد أصبحت تربط القوة مع سرعة تغير الطاقة المخزونة عند أي تشويه في النظام . وحيث ان معظم الطاقة المخزونة تمكث في الفجوة الهوائية وان كل الطاقة تخزن ضمن الدائرة المغناطيسية ، لذلك يمكننا أن نبين ان القوة تعود الى التغير في مقاومة الدائرة المغناطيسية . وتعرف القوة أيضاً بقوة المعاوقة .

هناك حالتان خاصتان تتعلقان بتوزيع الطاقة وتستحقان عناية خاصة :
ان توازن القدرة بدلالة وصلية التدفق، يصبح

$$\begin{aligned} P_E + P_M &= \frac{dW_f}{dt} \\ i \cdot \frac{d\psi}{dt} - f_E u &= \frac{dW_f}{dt} \\ \frac{dW_f}{dt} &= \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} \psi i \right) \quad \text{ولكن} \\ &= \frac{1}{2} \psi \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{2} i \cdot \frac{d\psi}{dt} \\ i \cdot \frac{d\psi}{dt} - f_E u &= \frac{1}{2} \psi \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{2} i \cdot \frac{d\psi}{dt} \quad \text{لذلك} \end{aligned}$$

ان ظروف الحالتين المشار اليهما هي :

التيار الثابت :

$$\begin{aligned} I \cdot \frac{d\psi}{dt} - f_E u &= \frac{1}{2} I \cdot \frac{d\psi}{dt} \\ f_E u &= \frac{1}{2} I \cdot \frac{d\psi}{dt} \\ f_E &= -\frac{1}{2} I \cdot \frac{d\psi}{dx} \\ &= -\frac{1}{2} I \cdot \frac{d}{dx} (LI) \\ &= -\frac{1}{2} I^2 \cdot \frac{dL}{dx} \end{aligned} \quad (11.8)$$

والتي هي نفس العلاقة (11.6) والتي مرت بنا ، الا انه في هذه الحالة

$$P_M = - \left. \frac{dW_f}{dt} \right|_{\text{ثابت}} \quad (11.9)$$

ان الطاقة الكهربائية الداخلة تنقسم بالتساوي : نصفها يتحول الى طاقة ميكانيكية ونصفها الآخر الى طاقة مخزونة في المجال المغناطيسي . وهذا التقسيم يدعى احيانا بقاعدة المناصفة . ان معكوس ما سبق يعود الى الحالة حينما يكون الشغل مصروفاً على الدوائر نتيجة تغيير اشكالها بالنسبة الى فعل القوى الكهرومغناطيسية او بسحبها عن بعضها البعض . وفي الحالة الاخيرة تعادل الطاقة العائدة الى المصدر ضعف الشغل الميكانيكي المصروف حيث ان النصف الثاني يعاد خزنه في المصدر بتقصان الطاقة المغناطيسية المخزونة في المجال .

ان قاعدة المناصفة لا تنطبق عند وجود المواد المغناطيسية الحديدية بجوار التيارات . وتحدث هذه بصورة خاصة عندما يكون التشبع المغناطيسي في اللب ممكناً . ولاغراض توحيد الطريقة فقد افترض في اللب ان يكون متجانساً ، لذلك فانه يكفي الأخذ بنظر الاعتبار الطاقة في الفجوات الهوائية . ولكي تكون الدائرة المغناطيسية متالية فان اللب المغناطيسي الحديدي لها يجب ان يكون ذو انفاذية عالية لحد لا نهائي ، لذلك تكون معاوقتها صفراً .

وصلية التدفق الثابتة

$$\begin{aligned} -f_E u &= \frac{1}{2} \Psi' \frac{di}{dt} \\ f_E &= \frac{1}{2} \Psi' \frac{di}{dx} \end{aligned} \quad (11.10)$$

في هذه الحالة لا يوجد اي تغيير في الطاقة الكهربائية نظراً لان وصلية التدفق الثابت لا يمكنها حث ق . د . ك . كرد فعل في النظام الكهربائي ولكن بدلاً من ذلك فان طاقة المجال تتغير الى طاقة ميكانيكية ، لذلك فان

$$\begin{aligned} P_M &= \frac{dW_f}{dt} \\ dW_M &= dW_f \\ dW_M &= f_E \cdot dx \quad \text{ولكن} \\ f_E &= \left. \frac{dW_f}{dx} \right|_{\Psi'} \text{ ثابت} \end{aligned} \quad (11.11)$$

وهنا تحتاج قطبية المغناطيسية الى بعض التفصيل في المناقشة . ان طول الفجوة او الفجوات الهوائية قد اخذت x والذي عند زيادة طول أو أطوال الفجوة يكون موجياً . ينتج من ذلك أنه عند حركة المتحرض لغلق الفجوة أو الفجوات فان السرعة تكون ذات اشارة سالبة .

في حالة التيار الثابت فان الطاقة الكهربائية تتغير لتجهيز الزيادة في المجال المخزونة لتجهيز طاقة الادخال الميكانيكية والتي كنتيجة لذلك تكون سالبة الشحنة . تعمل القوة باتجاه سالب اي لغلق الفجوة . وبنفس الشكل تكون اشارة القوة الميكانيكية سالبة نظرا لأن الحاجة تزداد عند نقصان طول او اطوال الفجوة ، وعليه تكون $\frac{dL}{dx}$ سالبة .

ان القوة الميكانيكية في حالة وصلية التدفق الثابت تكون ذات اشارة سالبة نظرا لأنه في العلاقة (11.10) ينقص التيار مع نقصان طول او اطوال الفجوة ، لذلك تكون $\frac{di}{dx}$ موجبة . وهذا يعطي قيمة سالبة للطاقة الميكانيكية ويساوي الفقد في الطاقة المخزونة في المجال المغناطيسي والذي يكون سالب الاشارة ، نظرا لكونه فقداً . وينتج من ذلك تبادل في الطاقة كما لوحظ اعلاه . عند العودة الى معادلة موازنة القدرة العامة يمكننا ان نلاحظ ان قاعدة المناصفة تحتاج الى توضيح في ان الطاقة المتحولة من النظام الميكانيكي خلال اي فترة من الزمن تساوي الجزء من التغيير في طاقة المجال المخزونة والناجمة من تغيير الدائرة المغناطيسية وذلك عند افتراض ثبوت التيار . ويمكن تمثيل ذلك كما يلي :

$$dW_M = dW_f \Big|_I \quad \text{I ثابت} \quad (11.12)$$

ان حالة وصلية التدفق الثابت هي حالة خاصة من نفس المبدأ اعلاه . وان المقادير المتضمنة لسرعة تغيير الحاجة او اي جزء من طاقة المجال لا يشترط ان تكون ملائمة . ففي بعض الاحيان يكون المقدار المتضمن للمعاوقة او ربما للمنافذة مفيدا . لنفرض ثانية المقدار العام للقوة بدلالة سرعة تغير الحاجة مع طول الفجوة

$$f_E = -\frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{dx}$$

$$= -\frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{dS} \frac{dS}{dx}$$

$$L = \frac{N^2}{S} \quad \text{ولكن}$$

$$\frac{dL}{dS} = -\frac{N^2}{S^2}$$

$$f_E = \frac{i^2 N^2}{2S^2} \frac{dS}{dx}$$

$$= \frac{1}{2} \phi^2 \frac{dS}{dx} \quad (11.13)$$

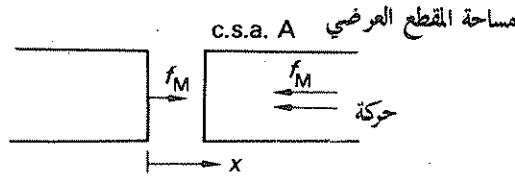
$$f_E = -\frac{1}{2} F^2 \frac{d\Lambda}{dx} \quad \text{ويمكن ان نبين بصورة مشابهة ان} \quad (11.14)$$

ويمكن أن نبين ثانية أن المعاوقة تنقص مع طول أو أطوال الفجوة ، ولذلك فإن سرعة التغير تكون موجبة وتكون القوة سالبة. أي أن الجهاز يعمل ثانية كمحرك .

إن هذا الاشتقاق المطول للمقادير العامة للقوى الناتجة من تغيير مقاومة الدائرة المغناطيسية ومن ثم قوة المحاذاة الناتجة كان ضرورياً لإعطاء توضيح كافٍ قبل البدء بالتطبيقات التي ستأتي فيما بعد . وسلاحظ فائدته بوضوح إذا ما أعيدت قراءته بعد الانتهاء من دراسة الجزء المتبقي من هذا الفصل إلا أن بالامكان الآن المضي قدماً بدراسة بعض الحالات البسيطة التي تبين المبادئ المستخدمة .

7-11 قوة المحاذاة بين سطحين ممغنطين متوازيين

لغرض إيجاد قوة المحاذاة بين جزئين من أجزاء اللب كالمبينين في شكل 14-11 . لنفرض ثانية العلاقة (11-13) .



شكل 14-11 قوة المحاذاة بين سطحين مغناطيسيين متوازيين

$$f_E = \frac{1}{2} \phi^2 \cdot \frac{dS}{dx}$$

ونظراً لأن ما يتبقى من اللب قد افترض بأنه مثالي فإن المعاوقة الكلية تظهر على الفجوة الهوائية . لذلك :

$$S = \frac{l_g}{\mu_0 A}$$

وهنا يلاحظ أن μ_r تساوي واحداً للهواء ، وأن l_g هي قيمة خاصة لـ x في الوضعية المفترضة .

$$\frac{dS}{dx} = \frac{1}{\mu_0 A}$$

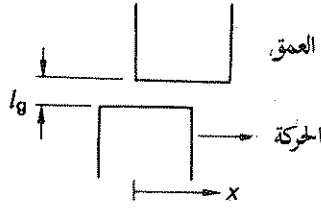
$$f_E = \frac{1}{2} \phi^2 \cdot \frac{1}{\mu_0 A}$$

$$= \frac{1}{2} B^2 A^2 \cdot \frac{1}{\mu_0 A}$$

$$= \frac{B^2 A}{2\mu_0}$$

(11.15)

وهذه تقريباً هي نفس العلاقة (11:2) . إلا أن القوة قد استعيرت عنها الآن بتأثيرها ، أي أن القطبية الموجبة تبين ان الاقطاب تتجاذب نحو بعضها البعض .



شكل 15:11 قوة جانبية بين مسطحين مغناطيسيين

ان تطور النظرية قد أكمل الآن دورة كاملة . فلنفرض وضعية مختلفة نحللها باستخدام نفس المبادئ . فاذا كانت الاقطاب قد أزيحت عرضياً ، فان قوة المحاذاة ستلاحظ وكأنها تحاول محاذاة الاقطاب كما مبين في شكل 15:11 .

وباهمال تأثير تدفق التسرب لنفرض ان المساحة المغطاة بالفجوة تساوي x_l ، لذلك فان

$$S = \frac{l_g}{\mu_0 x l}$$

$$\frac{dS}{dx} = -\frac{l_g}{\mu_0 x^2 l}$$

وهنا تقاس x بحيث $u = \frac{dx}{dt}$ ، لذلك يوجد إشارة سالبة في المقدار الممثل للقوة

$$f_E = -\frac{1}{2} \phi^2 \cdot \frac{dS}{dx}$$

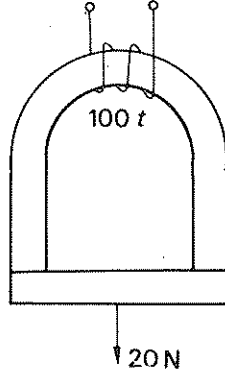
$$= -\frac{1}{2} B^2 x^2 l^2 \cdot \frac{-l_g}{\mu_0 x^2 l}$$

$$= \frac{B^2 l_g l}{2\mu_0} \quad (11.16)$$

ان قطبية هذا المقدار تشير الى أن العمق تحاول محاذاة الاقطاب بزيادة مساحة المقطع العرضي للفجوة الهوائية . لذلك فهي تقاوم من المعاوقة وهذا المقدار يجب أن يستخدم بحذر شديد نظراً لأنه لا يمثل دالة مستمرة (continuous function) ، فمثلاً لا يبين بوضوح انه عندما يكون القطبان متحاذيان تهبط القوة الى الصفر وتعكس اتجاه تأثيرها بعد ذلك .

وأخيراً يجب أن نلاحظ ان العلاقتين (11:15) و (11:16) يمكن تطبيقهما على أي فجوة ، وذلك لأنهما يتعلقان بطاقة المجال في كل فجوة والتي قد عرفت بدلالة المعاوقة والتدفق . وان الطاقة المخزونة في لب الدائرة المغناطيسية لا تؤثر على صحة هذه العلاقات حينما يكون اللب غير متالي .

مثال (1-11) صنع مغناطيس كهربائي من لب على شكل حذاء الفرس كالمبين في شكل 16-11 . وكان الطول التأثيري لللب يساوي 600 ملم ومساحة مقطعه العرضي 500 ملم² . حملت قطعة على شكل متوازي المستطيلات من الحديد بواسطة قوة محاذاة المغناطيس الكهربائي مما استدعى تسليط قوة مقدارها 20 نيوتن لفصل هذه القطعة . ان طول الدائرة المغناطيسية من خلال القطعة الحديدية يساوي 200 ملم ومساحة مقطعها العرضي الفعال يساوي 500 ملم² أيضاً فاذا كانت انفاذية اللب والقطعة يساوي 700 وكان عدد لفات الملف المغذي للمغناطيس يساوي 100 لفة ، ضمن مقدار تيار الملف .



شكل 16-11

يوجد في الدائرة المغناطيسية فجوتان هوائيتان . لذلك فان القوة اللازمة لفصل اجزاء الدائرة عن بعضها تساوي ضعف القوة اللازمة في كل من الفجوتين .

$$f_M = 2 \cdot \frac{B^2 A}{2\mu_0} = \frac{B^2 A}{\mu_0} = 20 \text{ N}$$

$$B = \left(\frac{20 \times 4\pi \times 10^{-7}}{500 \times 10^{-6}} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.222 \text{ T}$$

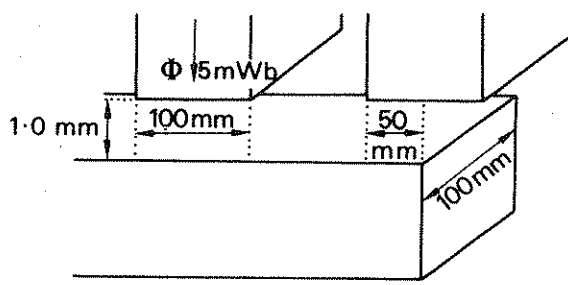
$$H = \frac{B}{\mu_0 \mu_r} = \frac{0.222}{4\pi \times 10^{-7} \times 700} = 250 \text{ At/m}$$

$$F = Hl = 250 \times (600 + 200) \times 10^{-3} = 200 \text{ At}$$

$$= NI = 100I$$

$$I = \frac{200}{100} = 2.0 \text{ A}$$

مثال (2-11) بين الشكل 17-11 قطبا مغناطيس كهربائي بالمقارنة مع قضيب حديدي . ضمن قيمتي فوتي المحاذاة اللتان تعملان بصورة عرضية على القضيب الحديدي والناجتان من كل قطب على فرض اهمال تأثيرات تدفق التسرب .



شكل 17-11

لا يوجد هناك أي قوة محاذاة في القطب الأيسر نظراً لأن الحركة في أي من الاتجاهين لا تغير من معاوقة الفجوة الهوائية : لذلك لا يمكن حدوث أي تغيير في طاقة المجال المخزونة في تلك الفجوة . ان قوة المحاذاة في الفجوة اليمنى تكون كما يلي :

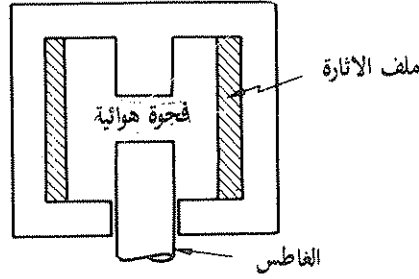
$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{5 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-3} \times 100 \times 10^{-3}} = 1.0 \text{ T}$$

$$f_E = \frac{B^2 / g l}{2\mu_0} = \frac{1.0^2 \times 1 \times 10^{-3} \times 100 \times 10^{-3}}{2 \times 4\pi \times 10^{-7}}$$

$$= 39.7 \text{ N}$$

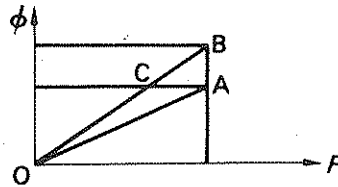
تبين الإشارة الموجبة للقطبية أن القوة هي قوة تجاذب ...

8-11 . مرحل الملف اللولبي (Solenoid Relay) . والعاطس (Plunger)
ان مرحل الملف اللولبي والعاطس هما مثالان عمليان على الوضعية التي بها يتجاذب السطحان الممغنطان نحو بعضهما البعض . فقد ذكر مرحل الملف اللولبي في الفقرة 1-11 ورسم في شكل 2-11 ويصنع عادة بحيث يكون القطب أو المتحرض مرتكزاً على محور ما بصورة عامة . ونتيجة لهذه الحركة الدورانية حول نقطة الارتكاز فان طول الفجوة لا يكون منتظماً على طول المقطع العرضي للفجوة . نظراً لقصر الحركة . لذلك فان التشوه الناتج يكون صغيراً لحد الإهمال . ان نقطة الارتكاز تصنع بشكل يقلل من الاستمرارية (discontinuity) في لب الدائرة المغناطيسية وبهذه الطريقة فانه يكفي افتراض الفجوة الهوائية في القطب ويمكن إهمال الطاقة المخزونة في اللب .
اما متحرض العاطس فيحتوي على تركيبية مترحلة في الحلقات (bushing) في حالة العاطس والتي تستخدم أيضاً لأغراض المرحلات وبالأخص في الدوائر التي تحتاج الى مسافة حركة اطول . ان طول الفجوة في الثقب التي يتحرك بها متحرض العاطس يمكن إهماله لأغراض التحليل وبكفي افتراض الفجوة الهوائية بين القطبين فقط . ان مرحل العاطس مبين في شكل 18-11



شكل 18-11 مرحل الغاطس البسيط

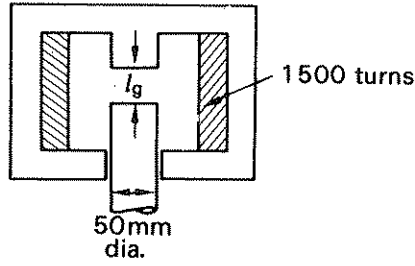
ان تأثيرات التيار والقولتية المسالطة على عمليات تحويل الطاقة في مثل هذه المرحلات يمكن وصفها بمساعدة المميزات التدفق مع ق. د. غ. لفرض وجود فتحة هوائية فقط ، فان المميزات المناسبة تكون خطية كالمبينة في شكل 19-11 .



شكل 19-11 مميزات التدفق / ق. د. غ. لتشغيل مرحل مثالي

اذا أبقى التيار ثابتاً خلال حركة المتحرض ، فان الق. د. غ. تبقى ثابتة ايضاً ، ولكن التدفق يزداد من Φ_A الى Φ_B وتساوي الطاقة المجهزة من المصدر $F(\Phi_B - \Phi_A)$ ويكون نصف الطاقة ممتصة في المجال ونصفها الاخر يظهر كطاقة ميكانيكية بضمنها المحزونات الميكانيكية . وهذا يتمثل بالمساحة ABO كما تبين الاوضاع الوسطية بالخط AB . اذا بقيت القولتية المسالطة ثابتة فانه يمكن ان نفترض بقاء وصلبات التدفق ثابتة ايضاً ، على فرض أن الدائرة المزودة للطاقة لا تحوي اي مقاومة . ان الظروف المتغيرة يمكن أن تمثل الآن بالخط AC . حيث يتحرك المرحل بسرعة ويكمل حركته قبل أن تكون قيمة التدفق قد تغيرت . لذلك فان الق. د. غ. ستأخذ القيمة F_C حينما يصطدم الغاطس بنهاية الوقوف . وعندئذ يزداد التدفق . أما الطاقة الميكانيكية المتوفرة فتتمثل بالمساحة $A'CO$

مثال (3-11) مرحل غاطس كالمبين في شكل 20-11 . عند تزويده بالطاقة بقي التيار ثابتاً على قيمة 2 أمبير . وتحرك الغاطس بحيث تقلصت الفتحة الهوائية بالطول من 20 ملم الى 10 ملم . احسب متوسط القوة المسالطة على الغاطس والطاقة المأخوذة من المصدر على فرض اهمال الفقد .



شكل 20-11

حينما تكون l_g تساوي 10 ملم :

$$F = NI = 1500 \times 2 = 3000 \text{ At}$$

$$H = \frac{F}{l} = \frac{3000}{10 \times 10^{-3}} = 300 = 10^3 \text{ At/m}$$

$$B = \mu_0 H = 4\pi \times 10^{-7} \times 300 \times 10^3 = 0.377 \text{ T}$$

$$\Phi = BA = 0.377 \times 252 \times \pi \times 10^{-6} = 0.74 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{1500 \times 0.74 \times 10^{-3}}{2} = 0.56 \text{ H}$$

حينما تكون l_g تساوي 20 ملم :

$$L = 0.56 \times \frac{1}{2} = 0.28 \text{ H}$$

$$f_E = -\frac{1}{2} I^2 \frac{\Delta L}{\Delta X} = -\frac{1}{2} \times 2^2 \times \frac{0.28}{-0.01} = 56 \text{ N}$$

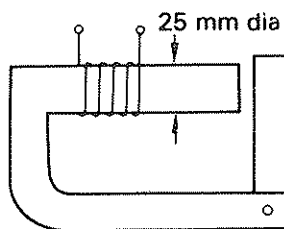
$$\Delta W_f = \frac{1}{2} I^2 \cdot \Delta L = \frac{1}{2} \times 2^2 \times 0.28 = 0.56 \text{ J}$$

$$= -\Delta W_M$$

$$\Delta W_E = -\Delta W_M + \Delta W_f = 0.56 + 0.56 = 1.12 \text{ J}$$

في هذه المسألة كان يمكن حساب الحثية من $L = N^2/S$ الا انه في مسائل كثيرة تكون المعلومات الوسطية المشتقة ككثافة التدفق مطلوبة لذلك فقد بينا طريقة الحل مفصلة .
 اما عند احتواء ملف الاثارة على مقاومة فان الحل يكون اصعب من ذلك . ان حالة الفولتية الثابتة لا يمكن حلها بسهولة نظرا لان وصلية التدفق الثابت تحتاج ان يتغير التيار لكي لا تحت اي ق. د. ك. وهذا التغير في التيار لا يولد هبوطا في الفولت المطلوب بسبب وجود مقاومة في الدائرة .
 مثال (14-11) ملف لولبي لمرحل يعمل على مصدر تيار مستمر فولتيته 110 فولت ومقاومة الملف الذي يحوي 5000 لفة تساوي 5.5 كيلو أوم . فاذا علمت ان قطر لولب المرهل يساوي 20 ملم وطول الفجوة 1.5 ملم وكان المتحرض ثابتا وعلى فرض ان وجهي الفجوة متوازيين وان انفاذية الاجزاء المغناطيسية الحديدية عالية جدا ، قدير قيمة . :

- أ. كثافة تدفق الفجوة
 ب. محاطة الملف
 ج. السحب على المتحرض
 (قطر ملم)



شكل 21-11

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110}{5.5 \times 10^3} = 20 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$F = IN = 20 \times 10^{-3} \times 5000 = \underline{100 \text{ At}}$$

$$H = \frac{F}{l_g} = \frac{100}{1.5 \times 10^{-3}} = 0.67 \times 10^5 \text{ At/m}$$

$$B = \mu_0 H = 4\pi \times 10^{-7} \times 0.67 \times 10^5 = 84 \times 10^{-3} \text{ T} \\ = \underline{84 \text{ mT}}$$

$$\Phi = BA = 84 \times 10^{-3} \times 10^2 \times \pi \times 10^{-6} = 26.3 \times 10^{-6} \text{ Wb}$$

$$L = \frac{\Phi N}{I} = \frac{26.3 \times 10^{-6} \times 5000}{20 \times 10^{-3}} = \underline{6.56 \text{ H}}$$

ان المحاطة L تتناسب عكسيا مع طول الفجوة l_g ، لذلك بصورة عامة

$$L = 6.56 \times \frac{1.5}{x}$$

$$\frac{dL}{dx} = -\frac{9.82}{x^2} = -\frac{9.82}{1.5^2} = -4.37 \text{ H/mm} \quad (6.11 \text{ وتعليق الاشارة السالبة كما موضحة في الفقرة})$$

$$= -4370 \text{ H/m}$$

$$f_E = -\frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{dx} = -\frac{1}{2} \times 20^2 \times 10^{-6} \times 44370 = \underline{0.88 \text{ N}}$$

وقبل المضي لافتراض ظروف حركة المرحل يجب اعطاء بعض الاهمية للـ ق. د. ك. المحتثة . وكتبيجة لذلك فان مقاومة الدائرة يمكن ان تدخل في توازن الطاقة والقدرة .

9-11 الق د ك المحتثة

ان الق. د. ك. التي تعاكس سريان التيار تنتج من الايصال المتداخل بين الدوائر الكهربائية والمغناطيسية ففي شكلها الأكثر شمولاً :

$$e = \frac{d\psi}{dt}$$

لذلك اذا اغلقت الدائرة الكهربائية على عدد من وصليات التدفق الناتجة من تدفق مغناطيسي متغير متولد خارجياً ، فإن الق. د. ك. المحتثة في الدائرة تنتج تياراً يولد مجالاً مغناطيسياً ذاتياً مكملاً فوق المجال الخارجي محاولاً تقليل التغير . ان الطريقة الكهرومغناطيسية لتوليد الق. د. ك. في دائرة تكون باننتاج مجال مغناطيسي موصل مع دائرة كهربائية ومن ثم يغير وصلية التدفق .

ولغرض التبسيط لنفرض دائرة كهربائية تحتوي على ملف ذي N من اللفات ، فانه يمكن الحصول على تغير وصليات التدفق بعدد من الطرق :

1. ان يتحرك الملف خلال تدفق ثابت بالقيمة .
2. ان يبقى الملف ثابتاً في تدفق متغير .
3. ان يحدث كلا التغيرين سوية .

ففي الحالة الاولى يمكن تطبيق قاعدة قطع التدفق (flux - cutting rule) لذلك

$$e_r = Blu$$

وتدعى هذه بالق. د. ك. الحركية (او الدورانية) ، وتكون دائماً مصحوبة بتبديل الطاقة بين الحالتين الكهربائية والميكانيكية .
وفي الحالة الثانية

$$e_p = N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

وتدعى هذه بالق. د. ك. النبضية (Pulsational emf) او الق. د. ك. التحويلية .
وحيث انه ليس هناك حركة مصحوبة لذلك فلا يوجد هناك تغيير طاقة كهروميكانيكية .

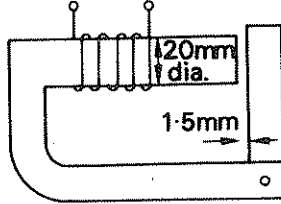
اما في الحالة الثالثة فان كلا النوعين من الق. د. ك. يتولدان .
لغرض توضيح انواع الق. د. ك. الحركية والنبضية ، لنعد ثانية الى المثال (4-11) ونفرض ان

المتحرض يتحرك بسرعة مقدارها 1 متر بالثانية . حينما يكون طول الفجوة 1.5 ملم ، فاذا كان التيار يساوي 20 ملي امبير كما هو في الحالة السابقة فان ق. د. ك. الحركية تكون

$$e_r = i \cdot \frac{dL}{dx} \cdot u = 20 \times 10^{-3} \times -4370 \times -1 = 87.5 \text{ V}$$

لذلك يمكن تبيان ان التيار يجب ان يكون اقل من 20 ملي امبير . فاذا استمرت الحركة فان التيار يحاول ان ينقص اكثر من ذلك وهذا التغيير يعاكس بالق. د. ك. النبضية

ان تقديراً تقريبياً لظروف الحالة الزائلة يمكن الحصول عليه بافتراض أن حركة المتحرض تحصل بسرعة بحيث ان التدفق لا يتغير بمقدار كبير ، مما يبقى التيار متناسبا مع المعاوقة تناسباً طردياً . مثال (5-11) يعمل المرحل المبين في شكل 22-11 على فولتية ثابتة قيمتها 50 فولت ، وكان طول الفجوة مبدئياً يساوي 2 ملم . عند تزويد المرحل بالطاقة فان المتحرض عند غلقه يمر بالنقطة التي يكون طول الفجوة الهوائية فيها يساوي 1.5 ملم بسرعة مقدارها 1 م بالثانية . اذا سحب المرحل تياراً مقداره 100 ملي امبير اثناء عملية الغلق ، ضمن قيمة التيار حينما تكون الفجوة الهوائية 1.5 ملم . ثم ضمن القدرة والقوة على المتحرض



شكل 22-11

لتفرض ان التدفق، لا يتغير بصورة ملموسة .

$$F = \phi S$$

$$\frac{i_{2.0}}{i_{1.5}} = \frac{l_{2.0}}{l_{1.5}}$$

$$\frac{2.0}{1.5} = \frac{100 \times 10^{-3}}{i_{1.5}}$$

$$i_{1.5} = 75 \times 10^{-3} \text{ A} = 75 \text{ mA}$$

$$V = ir + L \cdot \frac{di}{dt} + i \cdot \frac{dL}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$L = \frac{N^2 \mu_0 A}{l} = \frac{5000^2 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 12.5^2 \times \pi \times 10^{-6}}{1.5 \times 10^{-3}} = 10.25 \text{ H}$$

$$\frac{dL}{dx} = \frac{N^2 \mu_0 A}{l^2} = -\frac{L}{l} = -\frac{10.25}{1.5 \times 10^{-3}} = -688 \text{ H/m}$$

$$\frac{dx}{dt} = -1.0 \text{ m/s}$$

وبالتعويض في معادلة الفولتية

$$50 = \frac{75}{1000} \times \frac{50}{0.1} + 10.25 \times \frac{di}{dt} + \frac{75}{1000} \times -688 \times -1$$

$$\frac{di}{dt} = -3.8 \text{ A/s}$$

لذلك

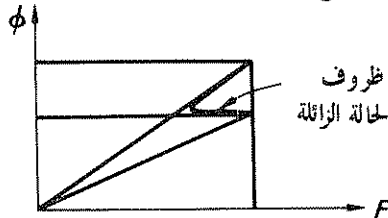
القدرة من المصدر	$P_i = 50 \times 75 \times 10^{-3} = 3.75 \text{ W}$
قدرة الفقد الكهربائي	$= i^2 r = 75^2 \times 10^{-6} \times 500 = 2.81 \text{ W}$
القدرة الميكانيكية	$= \frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{dx} \cdot u = \frac{1}{2} \times \frac{75^2}{1000^2} \times -688 \times -1 = 1.93 \text{ W}$
سرعة تخزين المجال	$= iL \cdot \frac{di}{dt} + \frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{dx} \cdot u = \frac{75}{1000} \times 10.25 \times -3.8 + 1.93$ $= -1.01 \text{ W}$

ان الاشارة السالبة تعني ان الطاقة قد اطلقت من المجال . وقد كان بالامكان تخمين قدرة المجال من علاقة موازنة القدرة . ان قوة المتحرض تعطى بالمعادلة

$$P_M = -f_E u = 1.93 \text{ W}$$

$$f_E = \frac{1.93}{1.0} = 1.93 \text{ N}$$

يبين الشكل 23-11 التغيير في الظروف خلال هذا المثال . وان التحديدات المفهوم ثبوت التدفق . يمكن ان تلاحظ من مخطط التدفق مع الق. د. غ. هذا .

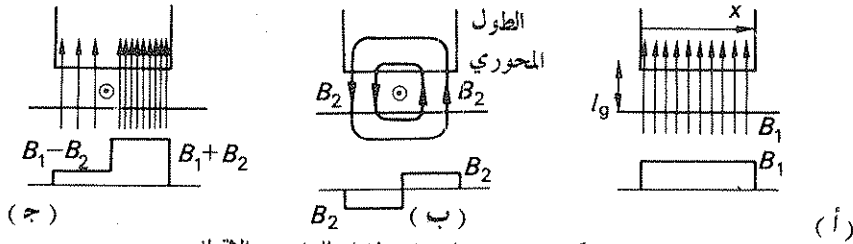


شكل 23-11 مخطط بياني للوضع الزائل لتغير التدفق مع الق. د. غ.

وقبل الانتهاء من هذه الوضعيات التي حددت لتحرك تقريبا بنسق خطية (linear modes) ، علينا ان نلاحظ ان زرتلامس والذي تكون حركته مشابهة لحركة الملف اللولبي . ولكن نظرا لانه يستعمل للسيطرة على دوائر القدرة فانه يحتاج الى مسافة اطول للحركة ، حيث ان مسافة الحركة يمكن ان تكون طويلة لحد يكفي لابطال عمل اوجه الاقطاب المتوازية تحت أي دقة افترضت . وعلى أي حال فان تقدير القوى المشمولة يمكن ان يتم باستخدام المبادئ اعلاه .

10-11 قوة الفعل المتداخل (Force of Interaction)

ان تحليل القوة كسرعة تغير طاقة المجال المخزونة مع التشوه قد اثرت فقط في قوة المحاذاة . لنفرض الآن المبدأ المطبق على قوة ترتيب الفعل المتداخل ، أي الموصل حامل التيار



شكل 24-11 الموصل الحامل للتيار بين الاقطاب

بتولد عادة تدفق متجانس بين قطبين مغناطيسيين حديديين كما مبين في شكل 24-11 أ لنفرض ان كثافة التدفق الناتجة تساوي B_1 وبين الشكل 24-11 ب نفس وضعية القطب الموصل يحمل تياراً ثابتاً I_2 . ولكن مع ازالة B_1 بصورة مؤقتة من المخطط . لنفرض ان الموصل يعود الى دائرة تناظرية التكوين ، وان الدائرة المغناطيسية هي الأخرى متناظرة ، فان الموصل سيتبع تدفقاً مقداره كثافته B_2 كما مبين . وهنا علينا ان نلاحظ انه نظراً لتناظر الترتيب فان الموصل يقع في وسط الفجوة الهوائية . واخيراً بين الشكل 24-11 ج النظامين احدهما مركبا فوق الآخر .

ان كثافة الطاقة المخزونة الى الجهة اليسرى من الموصل تساوي

$$\omega_f = \frac{(B_1 - B_2)^2}{2\mu_0}$$

بينما بالنسبة للجهة اليمنى

$$\omega_f = \frac{(B_1 + B_2)^2}{2\mu_0}$$

لنفرض ان حركة الموصل باتجاه x تساوي dx والتي ستقلل من الطاقة المخزونة بمقدار

$$dW_f = \left(\frac{(B_1 + B_2)^2}{2\mu_0} - \frac{(B_1 - B_2)^2}{2\mu_0} \right) l l_g \cdot dx$$

$$= \frac{2B_1 B_2}{\mu_0} \cdot l l_g \cdot dx$$

$$f_E = \frac{dW_f}{dx} \Big|_{i_2 \text{ constant}}$$

$$= \frac{2B_1 B_2 l l_g}{\mu_0}$$

$$B_2 = \mu_0 H_2$$

$$= \frac{\mu_0 i_2}{2l_g}$$

$$f_E = B_1 l i_2$$

(11.17)

ولكن

وهذا يثبت معادلة Bli التي مرت في الفصل الرابع . وان القطبية الموجبة تبين انه للوضعية المعطاة يحدث

فعل تحريك (Motoring action)

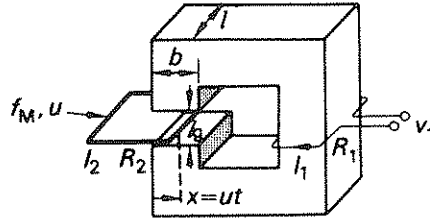
لقد اعطي تركيز كبير على ضرورة حصول التناظر . ففي معظم المكينن الدوارة والخطية يظهر الترتيب المتناظر بوضوح مما يزيد من الأهمية المعطاة بالعلاقة Bli . اما اذا كانت العلاقة ليست متناظرة فان معادلة Bli يجب ان تستخدم بتحفظ شديد .

لنفرض الوضعية المبينة في شكل 25.11 والتي احث اللب فيها بملف ذي لفة واحدة مقاومته R_1 ويمر فيه تيار ثابت مقداره I_1 . وقد بقيت قيمة التيار ثابتة بتغيير الفولتية المسالطة v_1 . وقد انتج هذا التيار

I_1 كثافة تدفق مقدارها B_1 .

ان ملفاً ذا لفة واحدة مقاومة دارته R_2 قد عمل بحيث يتحرك خلال الفجوة الهوائية بسرعة ثابتة مقدارها u ويحرك بواسطة قوة مقدارها f_M . فاذا فرضنا ان احد ضلعي الملف يمر بين القطبين ب زمن مقداره

t_b مع بقاء الضلع الثاني بعيدا عن الاقطاب ، فان حركة ضلع الملف في تدفق الفجوة الهوائية سيتيح ق.د.ك. حركية E_2 في الملف ، مما ينتج تيارا I_2 يساوي E_2/R_2 - يمر في الدائرة . وقد ظهرت الاشارة السالبة بسبب ان الق.د.ك. تعمل كمصدر لاق.د.ك. وليس كهبوط فعال بالقولت .



شكل 25-11 موصل حامل للتيار في فجوة هوائية لدائرة مغناطيسية غير متناظرة

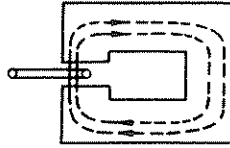
ان اعطاء المعلومات اعلاه يشير الى ان قوة الفعل المتداخل الملاحظة في الملف هي:

$$f_E = B_1 I I_2$$

وهذه النتيجة هي نتيجة خاطئة . لماذا ؟

ان وجود I_2 يؤدي الى مجال . بينما كثافة تدفق الفجوة تتأثر دون ان يبقى الموصل موضوعا في المجال الذي كثافته B_1 . لاحظ بأن الوضعية ليست متناظرة وان التدفق الثاني لا يقطع الفجوة مرتين . لاحظ

الشكل 26-11



شكل 26-11 التدفق الناتج من التيار لملف مغلق

ان قوة الفعل المتداخل يمكن ايجادها بالعودة الى توازن الطاقة والذي يمكن تبيانه تحليليا بعد اجراء عمليات معقدة . الا ان المثال ادناه يوضح هذه المبادئ بشكل دقيق .

مثال (6-11) الجهاز المبين في شكل 25-11 ذو ابعاد كما يلي :

- l_a تساوي 2.5 ملم
- b تساوي 200 ملم
- l تساوي 500 ملم

يحمل ملف الاثارة تيارا مقداره 2000 امبير ويحوي مقاومة مقدارها 0.005 اوم . يتحرك الملف المغلق بسرعة مقدارها 5 م/ثانية ويحوي مقاومة مقدارها 0.005 اوم . احسب قوة الفعل المتداخل المؤثرة على الملف المغلق .

لغرض حساب مايعبر عن الطاقة ، فعند موازنة الطاقة من الضروري حساب كثافات التدفق المشمولة .
ان كثافة التدفق الابتدائية في الفجوة الهوائية هي

$$B_1 = \mu_0 H_1 = \mu_0 \frac{I_1}{l_g} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2000}{2.5 \times 10^{-3}} = 1.0 \text{ T}$$

وتكون كثافة التدفق B_2 داخل الملف كما يلي

$$B_2 = \mu_0 H_2 = \mu_0 \frac{I_1 + I_2}{l_g}$$

بينما يكون التدفق داخل الملف

$$\phi_2 = B_2 l x = B_2 l u t$$

ان وصلية تدفق الملف تنمو بسرعة مقدارها

$$\frac{d\phi_2}{dt} = B_2 l u = E_2$$

$$I_2 = -\frac{E_2}{R_2} = -\frac{B_2 l u}{R_2} = -(I_1 + I_2) \cdot \frac{\mu_0 l u}{l_g R_2}$$

$$= -(I_1 + I_2) k$$

$$k = \frac{\mu_0 l u}{l_g R_2} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 0.5 \times 5}{2.5 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^{-3}} = 0.25 \quad \text{حيث}$$

$$I_2 = -\frac{k}{1+k} \cdot I_1 = -\frac{0.25}{1.25} \times 2000 = -400 \text{ A}$$

$$B_2 = \frac{(I_1 + I_2) \mu_0}{l_g} = \frac{(2000 - 400) 4\pi \times 10^{-7}}{2.5 \times 10^{-3}} = 0.8 \text{ T}$$

ان مكونات الطاقة المشمولة هي :

1 . طاقة الادخال من النظام الكهربائي ΔW_E . نظرا لوجود تغيير في التدفق في ملف الاثارة ،
فان ق.د.ك. تحت فيه . وعليه يجب ان تحور الفولتية المسحوبة لابقاء التيار ثابتا . لذلك فان
التدفق ، ومن ثم الطاقة المخزونة يتقصان مما يؤدي الى اعادة الطاقة المخزونة الى المصدر الكهربائي ،
لذلك :

$$v_1 = I_1 R_1 - E_1 = I_1 R_1 - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = I_1 R_1 - \frac{(B_2 - B_1) l b}{b/u}$$

$$= 2000 \times 0.005 - (1.0 - 0.8) 0.5 \times 5 = 9.5 \text{ V}$$

$$\Delta W_E = v_1 I_1 t = v_1 I_1 \frac{b}{u} = 9.5 \times 2000 \times \frac{0.2}{5} = 760 \text{ J}$$

2. ان طاقة الادخال من النظام الميكانيكي ΔW_M تساوي

$$\Delta W_M = -f_E b = -f_E \times 0.2$$

3. التغيير في طاقة المجال ΔW_f

$$\Delta W_f = \frac{(B_2^2 - B_1^2) l b l_g}{2\mu_0} = \frac{(0.8^2 - 1^2) 0.2 \times 0.5 \times 2.5 \times 10^{-3}}{2 \times 4\pi \times 10^{97}}$$

$$= -36 \text{ J}$$

4. الفقد $i^2 R$ والذي يرمز له بـ ΔW_1

$$\Delta W_1 = I_1^2 R_1 \cdot \Delta t + I_2^2 R_2 \cdot \Delta t$$

$$= 2000^2 \times 0.005 \times \frac{0.2}{5} + 400^2 \times 0.005 \times \frac{0.2}{5}$$

$$= 832 \text{ J}$$

ولكن $\Delta W_E + \Delta W_M = \Delta W_f + \Delta W_1$

$$760 - f_E \times 0.2 = -36 + 832$$

$$f_E = \underline{\underline{-180 \text{ N}}}$$

وعند اهمال اي قوة تحتاجها الخزانات الميكانيكية فان قوة الادخال الميكانيكية تساوي 180 نيوتن .
وبربط المسألة مع الاقتراح الاولي الذي ينص على ان f_E تساوي $B_1 I_2$ ولتقبل اولاً ان I_2 تساوي -400 أمبير ، لذلك

$$f_E = 1.0 \times 0.5 \times -400 = -200 \text{ N}$$

وكبديل لهذا ، لنفرض ان كثافة التدفق، لها القيمة المحورة ضمن الملف اي 0.8 تيسلا لذلك

$$f_E = 0.8 \times 0.5 \times -400 = -160 \text{ N}$$

ويمكن ان نلاحظ ان f_E هي معدل هاتين القيمتين . ان هذا المثال واضح الاختصار . الا ان المبادئ
الموضحة المهمة المبينة في العلاقة (11.17) تنطبق فقط للوضعيات المتناظرة وقد وجد ان هذه القيمة
المتوسطة صحيحة كما تم توضيحه في المثال اعلاه .
واخيراً علينا ان نلاحظ انه من الخطأ تماماً في المثال اعلاه القول ان

$$I_2 = \frac{B_1 l u}{R_2} = -\frac{1 \times 0.5 \times 5}{0.005} = -500 \text{ A}$$

$$f_E = B_1 I_2 = 1 \times 0.5 \times -500 = -250 \text{ N} \quad \text{لذلك}$$

ان مغزى هذه الفقرة هو التحقق من صحة التناظر !

مسائل على النظرية الموحدة للمكائن

1. ملف ذو محاطة ثابتة قيمتها 4 هنرى ومقاومة فعالة قيمتها 30 اوم . ربط فجأة الى مصدر للتيار المستمر قيمته 100 فولت . ما قيمة سرعة خزن الطاقة في مجال الملف في كل من الحالات التالية :

- أ. حينما يساوي التيار 1 أمبير
- ب. حينما يساوي التيار 2 أمبير
- ج. حينما يكون التيار بوضع الاستقرار النهائي

70 W, 80 W, 0

2. في المثال (1-11) لم تكن قيمة المحاطة مطلوبة في الحل علل ذلك .

3. مرحل بسيط ذو فجوة هوائية طولها 1 ملم ومساحة مقطعة الفعال 1000 ملم² . يحوي ملف التمغنط على 1000 لفة من سلك يحمل تيارا قيمته 200 ملي امبير . احسب الطاقة المخزونة في الفجوة الهوائية .
اهمل معاوقة الجزء المغناطيسي الحديدي من الدائرة المغناطيسية .

25mJ

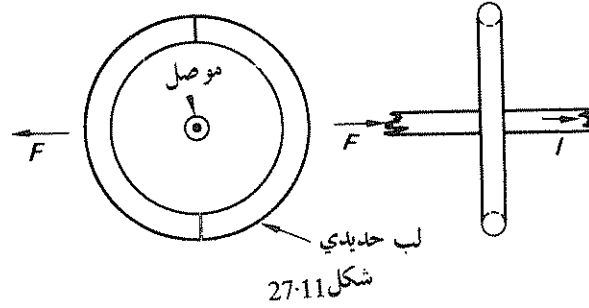
4. يحمل ملف تمغنط لمرحل في لحظة ما تيارا مقداره 100 ملي امبير ويزداد بسرعة 10 ملي امبير بالثانية . وفي نفس اللحظة كانت المحاطة تساوي 0.5 هنرى وتزداد بسرعة 50 هنرى بالثانية . فاذا كانت هذه التغيرات تحدث نتيجة حركة متحرض المرحل . احسب الس.ق. د.ك. المحتثة في ملف المرحل . اذا كانت المقاومة الفعالة للملف تساوي 600 اوم . احسب
أ. قدرة الادخال الميكانيكية
ب. سرعة خزن طاقة المجال

10 V, 0.25 W, 0.75 W

5. نصفًا حلقة حديدية وضعا سوية . وامرر موصل خلال المركز محوريا كما في شكل 27-11 . وكان متوسط قطر الحلقة يساوي 250 ملم ومساحة مقطعها العرضي 500 ملم² . عند امرار تيار خلال الموصل كان هناك حاجة لقوة مقدارها 25 نيوتن لفصل نصفي الحلقة . فاذا كانت انفاذية الحديد النسبية للحلقة تحت هذه الظروف تساوي 500 احسب :

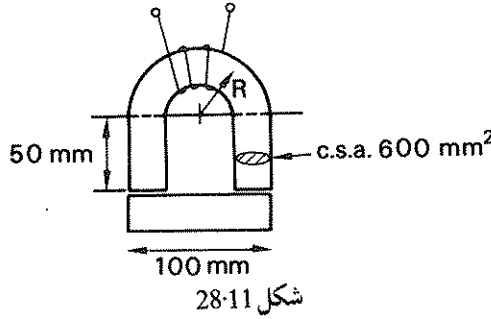
- أ. كثافة التدفق في الحلقة
- ب. متوسط قوة التمغنط في الحلقة
- ج. التيار في الموصل

0.25 T, 400 At/m, 314 A



6. مغناطيسي كهربائي كالموضح في شكل 28-11 . يحمل كتلة مقدارها 11 كيلو غرام . وكانت مساحة مقطع الجزء المغناطيسي من الدائرة المغناطيسية تساوي 600 ملم² وتيار الحث يساوي 2 أمبير . اوجد عدد لفات الملف التمتعظ لكي يتم الحصول على قوة الاسناد المطلوبة .
 علماً بان انفاذية مادة اللب تتغير مع كثافة التدفق كما مبين في الجدول

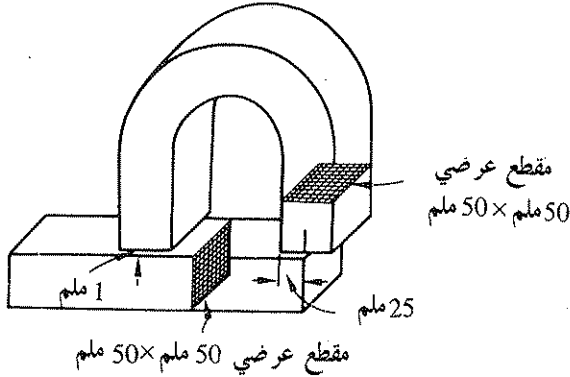
B (تيسلا)	0.36	0.44	0.48	0.60	0.72
μ_r	3 300	3 000	2 900	2 600	2 300



لفة 13

7. مغناطيسي كهربائي كالمبين في شكل 29-11 موضوع قريبا من قضيب من الحديد الصلب . فاذا كان التدفق في الدائرة المغناطيسية يساوي 2.5 ملي ويبر وعلى فرض ان مغاوقة الدائرة المغناطيسية مركزة في الفجوة الهوائية وان التهذب مهمل . احسب القوى العمودية والافقية المسلطة على القضيب الحديدي .

79.5 N, 2985 N (SANCAD)



شكل 29-11

8. مغناطيس على شكل اناء اسطواناني كاليمين في شكل (11-13) محوره عمودي فاذا كان الطول الاعظم للفجوة l_g يساوي 15 ملم وقد حددت الفجوة بحد ادنى مقداره 5 ملم على فرض اهمال معاوقة الاجزاء الحديدية من الدائرة المغناطيسية . وان ملف الاثارة يجهز بالطاقة من مصدر للتيار المستمر بفولتية مقدارها 60 فولت وتيار مقداره 3 أمبير . اوجد لحالات اطوال الفجوة العظمى والوسطى والصغرى ما يلي :

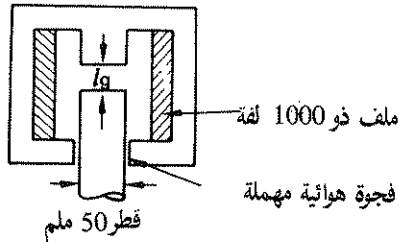
أ. كثافة تدفق الفجوة

ب. محاطة الملف

ج. القوة المغناطيسية للغاطس

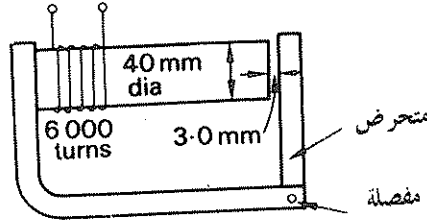
د. تحقق من ان القوة المغناطيسية الستاتيكية تساوي $\frac{1}{2} I^2 \frac{dl}{dx}$

0.25 T	0.38 T	0.75 T
164 mH	246 mH	492 mH
49 N	110 N	440 N



شكل 30-11

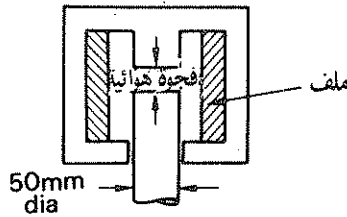
- 9- بين الشكل 31-11 مبادئ الوضع الميكانيكي لمرحل كهرومغناطيسي . باهمال الدق . د. غ . المطلوبة من قبل الاجزاء الحديدية من الدائرة المغناطيسية ضمن محاطة الملف لـ
- أ . طول الفجوة المعطاة 3 ملم
- ب . طول الفجوة ازداد الى 3.6 ملم
- ثم تخمن معدل القوة المتكونة على المتحرض بين هذين حينما يحمل الملف تيارا مستقرا قيمته 20 ملي امبير .
- إذا كانت مقاومة الملف تساوي 1000 اوم ، اوجد الفولتية الموجودة عبر الملف لكي يبقى التيار مستقرا حينما يتحرك المتحرض بين الموضعين في زمن مقداره 11 ملي ثانية .
- 18-9 H, 15-8 H, 1-04 N, 25.7 V (SANCAD)



شكل 31-11

- 10- اناء مغناطيسي اسطواني كاليمين في شكل 32-11 . ربط الملف الذي يحوي على 1000 لفة ومقاومة مقدارها 20 اوم الى مصدر للتيار المستمر ذي فولتية ثابتة مقدارها 60 فولت . مر الغاطس بالتقطة التي يساوي فيها طول الفجوة الهوائية 10 ملم متحركاً نحو الاعلى بسرعة منتظمة مقدارها 2 م / ثانية . تخمن قيمة التيار في هذه اللحظة مفترضا ان طول الفجوة الهوائية الابتدائي كان 15 ملم . حلل قدرة الادخال الآتية الى مكوناتها الحرارية ومعدل خزن الطاقة المغناطيسية والمركبة الميكانيكية ثم تخمن القوة المغناطيسية على الغاطس .

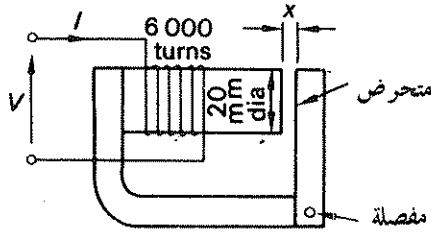
80-0 W, — 78-4 W, 118-4 W, 49-2 N



شكل 32-11

11. مرحل كهرومغناطيسي بسيط كالمتين في شكل 33-11 . يحوي ملفه مقاومة R ومحاثة L تتغير مع موضع المتحرض x . وعلى فولتية مسلطة ثابتة V . اشتق المقدار الذي يربط القدرة الميكانيكية المتغيرة مع سرعة تغيير محاثة الملف .
 افترض ان المتحرض يكون ساكنا . وان V تساوي 50 فولت . R تساوي 2 كيلو اوام و x تساوي 2 ملم وان قطر اللب يساوي 20 ملم .
 خمن
 أ. كثافة تدفق الفجوة
 ب. تدفق الفجوة
 ج. محاثة الملف
 د. سرعة تغير محاثة الملف مع طول الفجوة
 هـ. السحب المغناطيسي على المتحرض
 افترض ان قوى الفجوة متوازية وان انفاذية الاجزاء الحديدية عالية جدا .
 اذا تحرك المتحرض لغلق الفجوة والتي يساوي طولها 2 ملم بسرعة مقدارها 1 م / ثانية ييسن كيف يتأثر التيار ؟ وضح ذلك باختصار .

94 mT, 29.6 μ Wb, 7.5 H, 3600 H/m, 1.1 N (SANCAD)

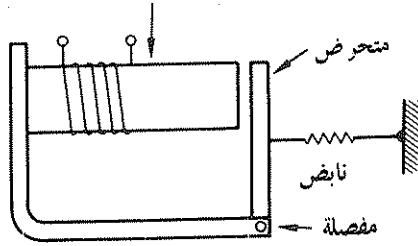


شكل 33-11

12. مرحل ذو متحرض منجذب كالمتين في شكل 34-11 . كانت فجوته الهوائية الابتدائية 3 ملم . وكانت محاثة الجزء الحديدي مهملة وكان الملف يحوي على 1000 لفة . يربط المتحرض بنابض لكي يبقى مفتوحا بحيث كانت القوة الابتدائية اللازمة لغلقه تساوي 0.8 نيوتن .
 وضح ماذا يحدث بعد تسليط فولتيه مستمرة على طرفي الملف مع اعطاء موازنات الطاقة المعنية .
 خمن المحاثة الابتدائية للملف السرعة الابتدائية لتغير المحاثة مع طول الفجوة والتيار المطلوب لغلق المرحل .

6 mA (SANCAD)

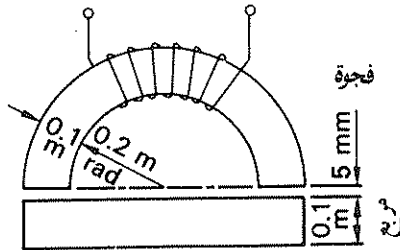
مساحة مقطع عرضي = 300 ملم²



شكل 11-34

- 13 · المغناطيس الكهربائي نصف الدائري المبين في شكل 11-35 استخدم لرفع قضيب مستطيل . اذا علمت ان المغناطيس الكهربائي والقضيب يحويان على نفس مساحة المقطع العرضي والتي هي بشكل مربع مساحته 0.01 م² .
 صنع المغناطيس الكهربائي من حديد صلب . وصنع القضيب من مادة على شكل صفيحة من الحديد الصلب ايضا . وكانت كثافة الكتلة تساوي 7500 كيلو غرام لكل متر مكعب .
 المغناطيس الكهربائي بالطاقة بواسطة ملف ذي 500 لفة مربوط عبر مصدر للتيار المستمر .
 اوجد التيار المطلوب لرفع القضيب باستخدام مميزات التمغط المبينة في المخطط البياني 2.5 .
 اهمل التسرب والتهديد في الفجوة الكهربائية .

4.2 A (SANCAD)



شكل 11-35

الفصل الثاني عشر

المكائن الدوارة

في الفصل السابق نوقش التشغيل الخطي لبعض المكائن الاعتيادية كالمحلات بشيء من التفصيل وهذه المكائن مفيدة جداً لتطبيقات معينة ، الا ان لها بعض المعوقات حيث ان الحركة التي تنتجها هذه المكائن ليست مستمرة . فالحركة الخطية العملية يمكن ان تحدث فقط على مسافات قصيرة نسبياً قبل انتهائها . بينما تدوم الحركة الدورانية بشكل لا نهائي تقريباً . ان هذه الخاصية محمّدة في كثير في التطبيقات المستخدمة حالياً كتشغيل المخارط والمثاقب وسحب القاطرات وتشغيل الرافعات والمصاعد وحتى تشغيل لعب الاطفال . لذلك من المناسب ان يستمر القارئ لدراسة الحركة الدورانية .

1-12 الحركة الدورانية

ان تحليل المكائن الكهروميكانيكية قد ركز على الخطية . الا ان تلك المبادئ تنطبق ايضا على المكائن

الدوارة بالاستعاضة عن λ ب λ (زاوية التشويه الدوراني) Angle of rotational distortion

Angular velocity of Rotor

ω_r : (السرعة الزاوية للدوار)

الوحدة : زاوية نصف قطرية / ثانية (rad/s)

الرمز : ω_r السرعة الزاوية

في المكائن الكهربائية يقاس الانطلاق (speed) عادة بعد الدورات بالثانية أو بالدقيقة ، لذلك

الوحدة : دورة بالثانية (rev/s)

الرمز : (n_r, n) الانطلاق الزاوي

ان الرمز المستخدم في هذا الكتاب هو ω_r كلما كان هناك استمرارية

$$\omega_r = 2\pi n_r$$

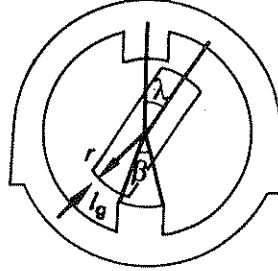
ان عزم الدائرة الدوارة يساوي

$$W_E = \frac{dW_f}{d\lambda} \Big|_I \quad I \text{ مقدار ثابت} \quad (12.1)$$

وهذا يتشارن مع العلاقة (11-7)

2-12 المحرك المعاوفي (Reluctance Motor)

يبين الشكل 1-12 ماكينة بسيطة توضح عزم المحاذاة . فإذا ازيح الدوار بزاوية مقدارها λ فإن عزم ما يسلط عليه محالوا بمحاذاته مع قطبي الساكن (stator) . ويحسب العزم الستاتيكي (static torque) وفق العلاقة 12-1



شكل 1-12 ماكينة عزم معاوفي بسيطة

ان كثافة طاقة المجال في الفجوات الهوائية تعطى بالمعادلة .

$$w_f = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

وهنا تجدر الإشارة الى اننا سناخذ طاقة الفجوة فقط . لذلك فان الطاقة الكلية تعطى بالمعادلة

$$W_f = 2 \left(\frac{B^2 A l_g}{2\mu_0} \right) = \frac{B^2 l r l_g (\beta - \lambda)}{\mu_0}$$

حيث A هي مساحة الفجوة التي يمر منها تدفق القطب لذلك فهي تساوي $(l r (\beta - \lambda))$

$$M_B = \frac{dW_f}{d\lambda}$$

$$= \frac{B^2 l r l_g}{\mu_0}$$

(12.2)

ان مثل هذه الماكينات لا تنتج دورانا مستمرا ولكن بالامكان تهيئتها مثل هذه الحركة . وتدعى الماكينة الناتجة بالمحرك المعاوفي وهو احد الماكينات قليلة الاهمية . (من تطبيقاته محركات الساعة الكهربائية) . الا ان له أهمية خاصة فان أي ماكينة تحتوي على نتوء (saliency) من النوع المبين بدوار الشكل 1-12 تنتج بهذه الطريقة عزمًا لا بأس به .

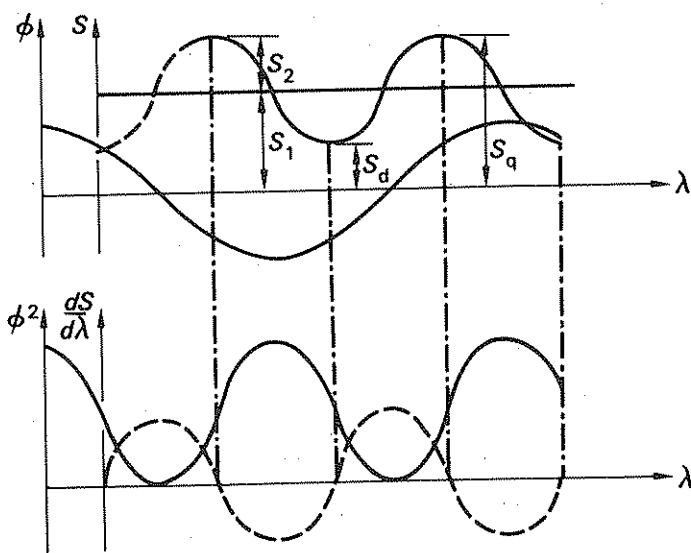
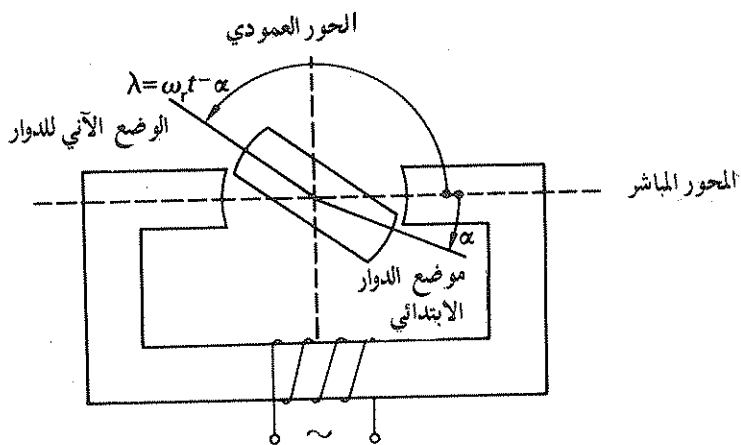
في الدوران المستمر هناك ضرورة لافتراض ان المعاوفة تتغير جيبيًا مع دوران الدوار وهذا يتقارن مع الناحية العملية بشكل مشجع ، فعند تسليط فولتية جيبيية على ملف الساكن فان تدفقًا ينتج وفق المعادلة

$$\phi = \Phi_m \cos \omega t$$

عند دوران الدوار تتغير المعاوفة محدثة اقل قيمة لها وذلك حينما يكون الخط المركزي للدوار متطابقا

مع المحور المباشر للشكل 2-12 وتساوي المعاوفة الصغرى S_f والتي تحدث حينما

$$\lambda = 0, \pi, 2\pi, \dots \text{ الخ}$$



شكل 2:12 محرك معاو في مع منحنيات التشغيل

اما المعاوقة العظمى فتحدث حينما يكون الخط المركزي للدوار متطابقاً مع المحور العمودي . وتدعى هذه المعاوقة العظمى S_q والتي تحدث حينما

$$\lambda = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \text{etc.} \dots \text{النق}$$

من منحنيات المعاوقة التي تبين التغيير الجيبي بين هذين الحدين

$$\begin{aligned} S &= S_1 - S_2 \cos 2\lambda \\ &= S_d + \frac{1}{2}(S_q - S_d) - \frac{1}{2}(S_q - S_d) \cos 2\lambda \\ &= \frac{1}{2}(S_d + S_q) - \frac{1}{2}(S_q - S_d) \cos 2\lambda \end{aligned}$$

$$\phi = \Phi_m \cos \omega t \quad \text{ولكن}$$

$$\phi^2 = \Phi_m^2 \cos^2 \omega t = \frac{1}{2} \Phi_m^2 (1 + \cos 2\omega t)$$

$$\frac{dS}{d\lambda} = (S_q - S_d) \sin 2\lambda \quad \text{وكذلك}$$

$$M_E = \frac{1}{2} \phi^2 \cdot \frac{dS}{d\lambda}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \Phi_m^2 (1 + \cos 2\omega t) (S_q - S_d) \sin 2\lambda$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \Phi_m^2 (S_q - S_d) (1 + \cos 2\omega t) \sin (2\omega_r t - 2\alpha)$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \Phi_m^2 (S_q - S_d) (\sin (2\omega_r t - 2\alpha) + \sin (2\omega_r t - 2\alpha) \cos 2\omega t)$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \Phi_m^2 (S_q - S_d) (\sin (2\omega_r t - 2\alpha) + \frac{1}{2} \sin (2\omega_r t + 2\omega t - 2\alpha) + \frac{1}{2} \sin (2\omega_r t - 2\omega t - 2\alpha))$$

إذا لم تساو ω السرعة الزاوية ω فإن الحدود الثلاثة ضمن المجموعة الأخيرة من الأقواس تصبح متغيرة مع الزمن ، بحيث يكون معدل قيمها صفراً . أما إذا ساوت ω_r ω فإن المقدار الأخير يصبح

$$M_E = \frac{1}{4} \cdot \Phi_m^2 (S_q - S_d) (\sin (2\omega t - 2\alpha) + \frac{1}{2} \sin (4\omega t - 2\alpha) + \frac{1}{2} \sin (-2\alpha))$$

إن الحد الأخير من المقدار أعلاه هو الوحيد الذي لا يعتمد على الزمن مما ينتج عنه أن متوسط العزم يساوي صفراً .

$$M_{Eav} = \frac{1}{8} \Phi_m^2 (S_q - S_d) \sin 2\alpha \quad (12.3)$$

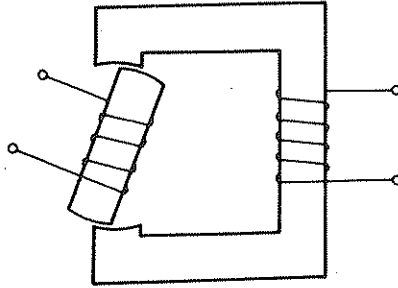
لذلك يمكن للدوار أن يدور بسرعة تتحدد بتردد المصدر هذا إذا استمر الدوران إضافة لذلك فهناك عزوم نبضية بضعف اربعة اضعاف التردد والتي تنتج دون احداث أي تأثير صافي (Nett Effect) لقد رسمت المنحنيات في الشكل 2-12 لتحقق ظروف الترددات المتساوية .

إن الماكنة التي يكون انطلاق الدوار محدداً فيها تماماً بتردد المصدر تكون من النوع التزامني . واخيراً يلاحظ ان العزم يعتمد على موضع الدوار والذي لا ينتج مباشرة من العلاقة (12-3) . ان هذه العلاقة تخص العزم الستاتيكي وتقتض ان الفجوة الهوائية منتظمة والتي تعكس ماهو موجود في المحرك المعاوقى .

3-12 المكاثن الدوارة المزوجة الاثارة (Doubly-excited)

ان الماكثة من النوع المعاوق المشروحة اعلاه تحوي على مضار أهمها هونوت سرعتها وضعف عزمها النبضي . وهذه تعزى الى الوسيلة التي يتولد بها العزم فالماكثة المعاوقية وكذلك المرحلات هي انظمة احادية الاثارة اي أن الساكن او الدوار فيها يغذيان بواسطة ملف يحمل تيارا . وفي كلا الحالتين فان الحركة تتسبب من حركة جزء يغير موضعه لتقليل معاوقة الدائرة المغناطيسية . وبسبب التركيب الفيزياوي في الجزء الدوار ، فان محور الدوار يحاول ان يحاذي نفسه مع محور المجال .

ولغرض تقوية التجاذب نحو المحاذاة فان كلا من الدوار والساكن يمكن تغديتهما . يبين الشكل 3-12 وضعية بسيطة تدعى بنظام مزدوج الاثارة .

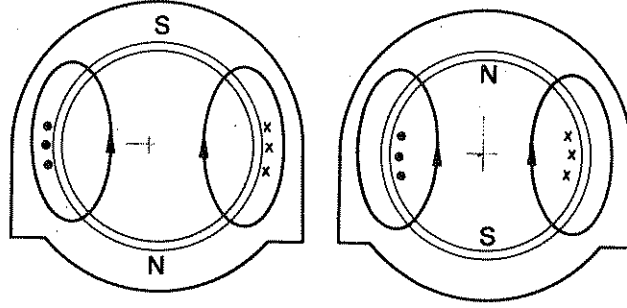


شكل 3-12 نظام دوار مزدوج الاثارة البسيط

في هذه الوضعية يحوي كل من الساكن والدوار على قطبين مغناطيسيين لذلك توصف هذه الماكثة بالماكثة ذات القطبين ، ويمكن صنع مكاثن ذات عدد أكبر من الاقطاب ولكن في هذا الفصل الاولي سنناقش فقط المكاثن ذات القطبين .

ان مكونات الملفات والدوائر المغناطيسية تسبب مجالات واضحة في الساكن والدوار . ومن تناظر المجالات فان كلا منها يحوي محورا خاصا به ، حيث تؤشر هذه المحاور الى اتجاهات متوسط القوى المغنطة عبر الفجوات الهوائية لكل من هذه المجالات . ونظرا لان اطوال هذه الفجوات ثابتة ، فان محاور المجال يمكن ان تحوي خواصا مركبة تكون قيمها ذات علاقة مع الق. د. غ. العائدة لها . يمكن الآن وصف العزم على أنه مولدا من محاور الق. د. غ. التي تحاول محاذاة انفسها وهذه المحاور هي دوال لتركيبات اللفاتف ومن ثم تصح اقل اعتمادا على تركيب اجزاء اللب . وفائدة ذلك هو توزيع المجال . بالرغم من انها بطبيعة الحال ضرورية لتكوين شدة مجال كافية . ومن ثم ينتج انه لا داعي لاستخدام أي دورات ذات اشكال معينة لتكوين المكاثن المعاوقية . فالملف على الدوار يعمل على ان يكون الدوار ذا محور ، معرف جيدا ، ومن ثم يمكن استخدام دورات اسطوانية الشكل . ان ذلك له فائدة جيدة بالنسبة للتصميم الميكانيكي للدوار ، نظرا لان الشكل الاسطواني يكون بطبيعته ذو تكوين متين .

عند ازالة الاجزاء الناتئة من شكل الدوار يزول العزم المعاوق ، حيث ان الدوار يظهر نفس المعاوقة مهما كان موقعه .



شكل 4-12 ما كنة ذات دوار اسطواني وساكن مبين فيها نموات التدفق النموذجية

ان الدائرة المغناطيسية للساكن المبينة في شكل 3-12 طويلة دون ان يكون هناك ضرورة لذلك ، حيث يمكن الاستعاضة عنها بصنع الساكن بشكل مشابه للدوار في احتوائه على مجموعة ملفات بشكل اسطواني . الا انه في الساكن تكون اللفائف قريبة من السطح الداخلي للاسطوانة كما مبين في شكل 4-12 . وسنلاحظ في اغلب الاحيان ان الملفات توضع في السطح دون ما حاجة ان تكون فوقه ، حيث ان ذلك يعطي متانة ميكانيكية للملفات ويقال من الفجوة الهوائية لاجزاء اللب .

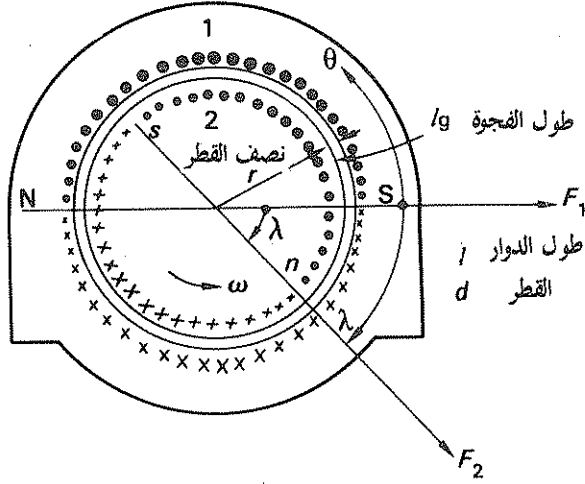
ان التيار في الملف الدوار ينتج نفسه ق . د . غ . ، ومن ثم تدفقا يدعى برد فعل المتحرض ، (Armature Reaction) . لذلك فان التدفق الكلي في الفجوة الهوائية هو نتيجة لمزج المجال الناتج من لفائف الدوار ومن المجال الناتج من اللفائف الساكنة . ان العزم المنتج من المحاذاة المطلوبة يمكن تحليله بطريقة فجوة الطاقة (Gap Energy Method) والتي استخدمت في الانظمة اجادية الاثارة . ولغرض تنفيذ ذلك من الضروري التقديم لمفهوم صفيحة التيار (Current Sheet) .

ان الموصلات المنفصلة حول سطحي الدوار الساكن تكون لا استمرارية موضعية في ترتيب المجال المتولد ويمكن تجنب هذا التأثير بافتراض ان اللفائف موجودة في كافة النقاط حول كل من السطحين . واذا ما نظرنا الى ذلك من الجهتين فانها تظهر وكأن لها تأثيرا كصفيحة من التيار يسرى نحو الساكن او الدوار عبر سطحي الفجوة الهوائية . او بعيداً عنهما . وفي التحليل الذي سيلي فان صفائح التيار ستفترض بدلا من تركيب اللفائف بدقاتها . ان التركيب هو مسألة ترتبط بالتصميم ، لذلك يمكن ان تؤخذ بنظر الاعتبار في وقت لاحق . اما في الوقت الحاضر فان التركيب يدخل فقط في عرض المبادئ المستخدمة تقاس صفيحة التيار اما بالامبير لكل متر او بالامبير لكل زاوية نصف قطرية . ففي الحالة الاولى يكون القياس حول المحيط اما في الحالة الثانية فيؤخذ حول محور الدوران ويدعى هذا القياس بالكتافة السطحية للتيار (Current Surface Density) .

الرمز : A : الوحدة : امبير / زاوية نصف قطرية (A/rad)

ولأسباب ستبين في التحليل القادم من المفضل قياس الكتافة السطحية للتيار بالامبير لكل زاوية نصف قطرية .

الشكل 5.12 بين ماكينة مناسبة ذات قطبين موضع عليها الصفائح التيارية الممكنة حيث قد رمز للصفائح بإشارة نقطة وعلامة ضرب . وبدلا من اعتبار الصفائح التيارية تغير اتجاهها فجأة في بعض النقاط حول السطوح ، فإنها تعتبر موزعة بشكل جيبي كما مبين في تغيير حجوم النقاط وعلامات الضرب . وهذا التوزيع الجيبي مفيد نظرا لأنه يتفق مع كثير من المكاين العملية بشكل جيد .

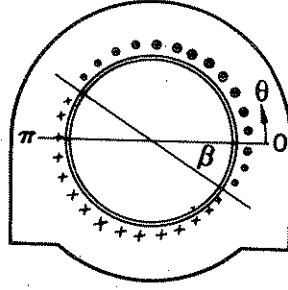


شكل 5.12 ماكينة ذات قطبين بدائية

من المناسب اعطاء الرمز 1 لكميات للساكن والرمز (2) للكميات العائدة للدوار . لذلك فان ا ق . د . غ . ستكون F_1 و F_2 تتولد فيهما على التوالي مع ازاحة محوريهما بزواوية مقدارها λ . ان اخذ التأثيرات التي تولدها صفائح التيار الجيبية هو التوزيع الجيبي لكثافة التدفق حول الفجوة الهوائية . وعلى فرض أن اللب مثالي كما يؤخذ عادة ، فعند تطبيق قانون الشغل لأي ممر قطري عبر الفجوات والصفائح التيارية ، يكمل الجزء العائد خلال الساكن . ان ا ق . د . غ . الناتجة تسبب انتاج تدفق حول هذا الممر . ويمكن تبين أن كثافة التدفق تتناسب مع ا ق . د . غ . اي أنه اذا كانت ا ق . د . غ . لكل قطب هي F فان

$$\begin{aligned}
 F &= H l_g \\
 &= \frac{B l_g}{\mu_0} \\
 B &= \frac{\mu_0 F}{l_g} \quad \text{لذلك}
 \end{aligned}
 \tag{12.4}$$

ان ق . د . غ . لمثل هذا الممر يمكن ايجادها بالرجوع الى النظام احادي الاتارة المبين في شكل 6.12 وهذا ينتج صفيحة تيارية ذات توزيع جيبي يمكن تمثيلها بالمقدار $A_m \sin \theta$



شكل 6-12 توزيع كثافة التدفق الناتجة عن صفيحة التيار الجيبي

إذا اخذنا الممر القطري بزاوية مقدارها β مع المحور المرجعي كما مبين في الشكل فإنه :

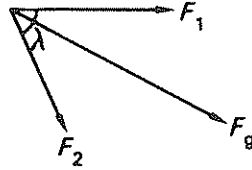
$$\begin{aligned}
 2F &= \int_0^{\pi} A_m \sin(\theta + \beta) \cdot d\theta \\
 &= A_m \int_0^{\pi} (\sin \theta \cdot \cos \beta + \cos \theta \cdot \sin \beta) d\theta \\
 &= A_m [-\cos \theta \cdot \cos \beta + \sin \theta \cdot \sin \beta]_0^{\pi} \\
 &= 2A_m \cos \beta
 \end{aligned} \tag{12.5}$$

لذلك فإن ق. د. غ. تتغير جيبياً كلما دار الممر القطري حول محور دوران الدوار، وحينما تساوي β صفراً فإن الق. د. غ. تكون ذات قيمة عظمى ومن ثم فإن كثافة التدفق الناتجة عبر محور الق. د. غ. تكون اعظم ما يمكن. وهذا يمكن أن يتطابق مع النقاط التي تقع على صفيحة التيار والتي تكون الكثافات السطحية للتيار فيها صفراً. وعلى العكس فإن هناك كثافة تدفق مقدارها صفراً في تلك النقاط التي تكون على استقامة نقاط كثافة التيار ذي القيمة العظمى. ان الق. د. غ. للملف الكامل تحسب من اعظم قيمة للعلاقة (12.5)، ومن ايجاد الممر الذي يعطي اعظم ق. د. غ. فإن محوري وضعية لفائف يمكن ان تحدد بدقة. وبهذه الطريقة يمكن توضيح مفهوم محور الق. د. غ. ان المسار عبر محور الق. د. غ. يمر خيلاً ترتيباً في قطبين. تقسم الق. د. غ. مناصفة بين القطبين، ومن ثم فإن القيمة المشتقة من المقدار (12.5) تتحدد لكل قطب. وذلك ملائم لأن الق. د. غ. الكلية لكل قطب تعطى بـ

$$F = A_m \tag{12.6}$$

في النظام المزدوج الاشارة ينتج كل من صفيحتي الدوار والساكن مجالات في الفجوة الهوائية ذات كثافة تدفق موزعة جيبياً كما ذكرنا أعلاه. وقد سبق ان بينا عدة صمات

ان أي كميتين جيبيتين كهاتين الكميتين لهما نفس الفترة الزاوية تكون محصلتهما كمية جيبية ايضاً . لذلك فان التدفقات تتجمع لتكون تدفقاً كلياً ذا توزيع جيبي لكثافة تدفقه . وحيث ان موجات كثافة التدفق يمكن تمثيلها لمركبات الق . د . غ . فان تأثيرها مجتمعاً يمكن تمثيله بجمع مركبات كل من مركبي الق . د . غ . المنفصلتين وذلك موضح في الشكل 7-12 .



شكل 7-12 جمع مركبات الق . د . غ .

من المخطط المركب يمكن تبيان ان

$$F_g^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 F_2 \cos \lambda$$

والآن يمكن تحليل عزم نموذج الماكثة البدائية المتولد من المناقشة اعلاه . فكما سبق يمكن تطبيق طريقة فجوة الطاقة في التحليل لايجاد المقدار للعزم أي

$$M_E = \left. \frac{dW_f}{d\lambda} \right|_I$$

ان الماكثة المبينة في شكل 5-12 لها نموذج صفيحة تيار ثابت والذي هو مكافئ لتطبيق شرط التيار الثابت . يبقى علينا ايجاد مقدار طاقة الفجوة فمن العلاقة (11-1) تكون كثافة الطاقة في نقطة اعظم كثافة تدفق كما يلي :

$$w_f = \frac{B_m^2}{2\mu_0}$$

الا انه كانت F_g هي ق . د . غ . الكلية لكل قطب ، لذلك فمن العلاقة (12-4)

$$w_f = \frac{\mu_0 F_g^2}{2l_g^2}$$

إن كلاً من كثافة التدفق والق . د . غ . تتغيران جيبياً حول سطح المواري . وحيث أن القيمة المتوسطة لمربع الكمية الجيبية يساوي نصف مربع القيمة العظمى ، لذلك

$$w_{fav} = \frac{\mu_0 F_g^2}{4l_g^2}$$

يمكن الحصول على طاقة الفجوة الكلية بضرب متوسط كثافة الفجوة بحجم الفجوة أي

$$\begin{aligned}
 W_f &= w_{fav} V \\
 &= \frac{\mu_0 F_g^2}{4l_g^2} \cdot \pi dl \cdot l_g \\
 &= \frac{\mu_0 \pi dl}{4l_g} (F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 F_2 \cos \lambda) \\
 M_E &= \frac{dW_f}{d\lambda} \\
 &= -\frac{\mu_0 \pi dl}{2l_g} \cdot F_1 F_2 \sin \lambda
 \end{aligned} \tag{12.7}$$

إن الإشارة السالبة في هذا المقدار تنتج من الاتجاه الذي به قيست λ وبالرغم من أن هذه الوضعية تنتج عزمًا ، إلا أنها لا تنتج دورانًا بنفسها . وإن صفيحة التيار الساكن تفترض أنها تدور حول السطح الدوار . أما الطريقة التي يمكن بها الحصول على ذلك فتستوضح في الفقرة 8-12 . إن دوران صفيحة التيار تعمل على تدوير الق . د . غ . F_1 بسرعة زاوية ولنفرض ω . فإذا دار الدوار أيضاً بنفس السرعة فإن محور الق . د . غ F_2 له سيواجه العزم المعرف بالعلاقة (12.7) . وكنتيجة لذلك فإن الدوار يتحرك بالنسبة للموضع النسبي لمحور الق . د . غ . F_1 ، حيث يلاقي عزمًا كافيًا للبقاء على دورانه . فإذا دارت الماكينة بسرعة ثابتة فإنها لا تحوي أي فقود ، نظرًا لأن المحاور ستحاذي أنفسها . والاهم من ذلك افتراض الحالة التي تستخدم بها الماكينة لتغيير الطاقة ، ففي المحرك يربط عادة حمل إلى الدوار وهذا الحمل يحتاج إلى عزم لتدويره ، ومن ثم فإن الق . د . غ . تزاوج بزاوية مقدارها λ لإنتاج العزم المطلوب . لذلك فإن الزاوية λ تدعى بزاوية العزم ، وهذا الوضع مبين في شكل 5-12 . حيث يلاحظ أن محور الدوار يتخلف عن محور الساكن وينطبق العكس بالنسبة للمولد . عند تشغيل الماكينة في ظروف وضع الاستقرار فإن كل الطاقة تنقل من نظام الطاقة الكهربائي إلى نظام الطاقة الميكانيكي والعكس بالعكس . ولهذا السبب لا يحدث أي تغيير في الطاقة المخزونة في المجال المغناطيسي . و

$$\frac{dW_f}{dt} = 0$$

$$\frac{dW_f}{d\lambda} \cdot \frac{d\lambda}{dt} = 0 \quad \text{لذلك}$$

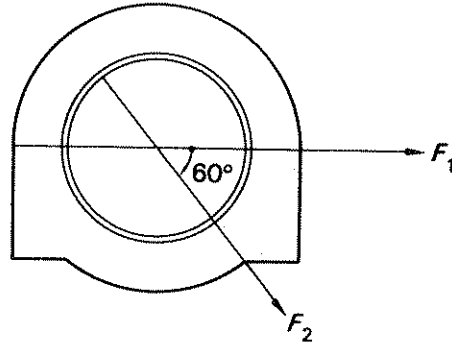
ونظرًا لأن الحد الأول من هذا المقدار قد استخدم لإشتقاق العزم فإنه ينتج أن $d\lambda/dt$ يجب أن تساوي صفرًا تمامًا . وهذه العبارة تؤدي إلى شذوذ واضح في أن السرعة الزاوية يجب أن تساوي صفرًا . ورغم هذا فإن الدوار يدور نتيجة دوران نموذج المجال ولغرض توضيح ذلك فإن هناك نوعان من السرعة الزاوية

التي يجب أن نقرضها .
 لقد استخدمت الزاوية λ لتحليل نماذج المجال بالنسبة الى محور مناسب والذي كان في هذه الحالة
 الق . د . غ . للساكن . لذلك فان السرعة الزاوية $d\lambda/dt$ تقيس المعدل الزاوي للثبوت بين محالي الدوار
 والساكن . وفي ظروف الحالة المستقرة فان نموذج المجال يبقى ثابتاً ومن ثم تبقى الق . د . غ . للدوار
 والساكن صانعتين نفس الزاوية λ مع بعضهما . اما اذا كانت الماكينة تحت الظروف الزائلة فان تغييرات
 العزم تنتج حركات نسبية بين المحاور ، لذلك تكون $d\lambda/dt$ مقياساً لسرعتها الزاوية النسبية .
 وعلى أي حال فان كلا المجالين يدوران ومن ثم فان نموذج المجال يدور
 هو الآخر . ان سرعة هذا النموذج بالنسبة الى محور ثابت هي ω ، لذلك فهناك
 سرعتان احدهما نسبية داخل نموذج المجال والاخرى خاصة .

واخيراً علينا ان نلاحظ ان محور الق . د . غ . للدوار هو الذي يدور بنفس السرعة الزاوية كمحور الق . د . غ .
 للساكن . وهذا لا يتعارض مع كون الدوار يدور بنفس السرعة الزاوية . فاذا رتب الدوار ومحور الق . د . غ .
 للدوار بشكل بحيث يكون المحور ذا وضع ثابت بالنسبة الى الدوار فان السرعة الزاوية تتطابق . فالماكينة
 ذات التركيب من النوع المقترح في شكل 5-12 يقال عنها انها تزامنية . الا ان محور الق . د . غ .
 يمكن ان يدور بالنسبة للدوار ومن ثم فان الدوار يكون ذو سرعة زاوية مختلفة عن تلك العائدة لنموذج
 المجال . ولهذا النوع من التركيب يقال عن الماكينة انها لا تزامنية (Asynchronous) .
 ان حركة الدوار بالنسبة لمحور الق . د . غ . للدوار يمكن ان تعطى شكوكا حول صحة اشتقاق مقدار العزم ،
 حيث ان هذا الاشتقاق يحتاج الى ظروف ذات تيار ثابت . الا انه يجب ان نتذكر ان نموذج المجال
 هو الذي سبق تحليله وان هذا النموذج يحافظ على وضع ثابت بالنسبة الى صفيحة التيار ذات القيمة
 المستقرة لذلك فان ظروف التيار الثابت تبقى منطبقة .

مثال (1-12) تحتوي الماكينة البدائية ذات القطبين المبينة في شكل 8-12 على لبين متمركزين
 مكونين من مادة ذات انفاذية عالية . فاذا كان قطر الدوار يساوي 0.25 متر وطوله الفعال 0.2
 متر والطول النصف القطري للفتحة يساوي 5 ملم .

- أ . اذا احتوى الساكن على تيارات موزعة جيئياً معطية أعظم كثافة سطحية للتيار مقدارها 2000
 أمبير لكل زاوية نصف قطرية ، ما قيمة أعظم كثافة تدفق فتحة ناتجة على سطح السدوار ؟
- ب . اذا مغنط الدوار بتيارات موزعة جيئياً لكي تعطي اعظم كثافة سطحية للتيار مقدارها 1500
 أمبير لكل زاوية نصف قطرية على محور مزاح بـ 60° عن ذلك الساكن ، احسب عزم الدوار ؟
- ج . اذا كانت السرعة الزاوية للدوار تساوي $(2\pi \times 50)$ زاوية نصف قطرية بالثانية ، ما
 مقدار الطاقة الميكانيكية المغيرة ؟



شكل 8-12

من العلاقة (12.7) سبق ان بينا انه اذا كانت الكثافة السطحية للتيار مقاسة بالامبير لكل زاوية نصف قطرية

$$F_1 = A_{1m}$$

$$F_1 = \frac{B_{1m} l_g}{\mu_0}$$

ولكن

$$B_{1m} = \frac{\mu_0 F_1}{l_g} = \frac{\mu_0 A_{1m}}{l_g} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2000}{5 \times 10^{-3}} = \underline{0.5 \text{ T}}$$

لذلك

$$M_E = \frac{\mu_0 \pi d l}{2 l_g} \cdot F_1 F_2 \sin \lambda$$

$$F_2 = A_{2m}$$

حيث

$$M_E = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times \pi \times 0.25 \times 0.2 \times 2000 \times 1500 \times 0.87}{2 \times 5 \times 10^{-3}}$$

لذلك

$$= \underline{51 \text{ Nm}}$$

$$P_M = \omega_r M_E = 2\pi 50 \times 51 = 16000 \text{ W}$$

$$= \underline{16 \text{ kW}}$$

4-12 العزم الناتج من قوى الفعل المتداخل

ان التحليل الذي تم في الفقرات السابقة السابقة قد اهتم بتركيب مكونات اللب المغناطيسي ، الا انه في حالة الاثارة المزدوجة فان القوة والعزم يمكن اشتقاقهما من تحليل القوى على موصلات الدوار . لنفرض ثانيا الماكينة البدائية ذات القطبين والمعرفة في الشكل 5-12 . فقد سبق ان توذرع

الـ ق. د.غ. حول الفجوة الهوائية هو جيبي وان كثافة التدفق تتناسب مع الـ ق. د.غ. مما ينتج عنه أن توزيع كثافة التدفق حول سطح الدوار يكون جيبياً . لنفرض ان كثافة التدفق تعرف بـ

$$B = B_{1m} \cos \theta$$

$$B_{1m} = \frac{\mu_0 F_1}{l_g}$$

حيث

مما ينتج عنه ان صفيحة التيار للدوار يمكن تعريفها كما يلي

$$A = A_{2m} \sin(\theta + \lambda)$$

حيث A مقاسة بالامبيرات لكل زاوية نصف قطرية .

واذ كانت القوة التي تؤثر على الجزء من صفيحة التيار المحصورة بين الفسحة المحددة بالزاوية الصغيرة $d\theta$ وانها تساوي $f_{E\theta}$ فانه

$$f_{E\theta} = -BAI \cdot d\theta$$

ونظرا لان الترتيب الكلي للماكنة متناظر ، فان العلاقة تكون صحيحة . اما الاشارة السالبة فنتيجة من الاتجاه الذي قيست به λ ، اي الاتجاه الذي يقلل من الطاقة المخزونة وليس الاتجاه الذي يزيد منها.

ان العزم الناتج من هذا المقطع الصغير يساوي

$$dM_{E\theta} = -BAI r \cdot d\theta$$

وبأخذ التكامل حول سطح البوار كاملاً فان العزم الكلي يساوي

$$\begin{aligned} M_E &= \int_0^{2\pi} -BAI r \cdot d\theta \\ &= -B_{1m} A_{2m} I r \int_0^{2\pi} (\cos \theta \cdot \sin(\theta + \lambda)) d\theta \\ &= -B_{1m} A_{2m} I r \int_0^{2\pi} (\cos \theta \cdot \sin \theta \cdot \cos \lambda + \cos^2 \theta \cdot \sin \lambda) d\theta \\ &= -B_{1m} A_{2m} I r \int_0^{2\pi} (\frac{1}{2} \sin 2\theta \cdot \cos \lambda + \frac{1}{2} \sin \lambda + \frac{1}{2} \cos 2\theta \cdot \sin \lambda) d\theta \\ &= -B_{1m} A_{2m} I r [-\cos 2\theta \cdot \cos \lambda + \frac{1}{2} \theta \cdot \sin \lambda + \sin 2\theta \cdot \sin \lambda]_0^{2\pi} \\ &= -\pi B_{1m} A_{2m} I r \cdot \sin \lambda \end{aligned} \quad (12.8)$$

ان مسألة القطبية بالنسبة للعزم في هذا المجال تحتاج الى مناقشة اكثر ولكن يمكن تأجيل ذلك لحين اكمال توضيح مبادئ لفائف الطور والمبدل .

$$B_{1m} = \frac{F_2 \mu_0}{l_g}$$

نظرا لأن

$$A_{2m} = F_2$$

وكذلك

$$\begin{aligned} M_E &= -\pi B_{1m} A_{2m} l r \sin \lambda \\ &= -\frac{\pi F_2 \mu_0 F_2}{l_g} l r \sin \lambda \\ &= -\frac{\mu_0 \pi d l}{2 l_g} F_1 F_2 \sin \lambda \end{aligned}$$

ومن ثم

لذلك فان مقادير العزم تظهر انها متكافئة ، وبالأخص يجب أن نلاحظ أن كلا من هذه المقادير تحتوي على زاوية العزم λ . وهذا مهم نظراً لأن معظم المناقشة التالية تعتمد على هذه الزاوية . اذا كانت B_{1m} و A_{2m} لا يرمزان فقط الى قيمة الذروة كما سبق ، بل كذلك لقيم الذروة للكميات المتغيرة مع الزمن جيباً وذات ازاحة طور الزمن ϕ لذلك فان متوسط العزم يتقص بالقيمة . ويعطي مقدار العزم في اي لحظة بالمعادلة .

$$M_E = -\pi B_{1m} A_{2m} l r \sin \lambda \sin \omega t \sin (\omega t + \phi)$$

في هذا المقدار ω هي التردد الزاوي للكميات المتغيرة مع الزمن وليست السرعة الزاوية لنموذج المجال . وفي تحليل متوسط القدرة في دائرة التيار المتناوب المتغيرة جيبياً سبق أن بينا أن معدل $\sin \omega t \sin (\omega t + \phi)$ يساوي $\frac{1}{2} \cos \phi$ لذلك

$$M_E = -\frac{\pi}{2} B_{1m} A_{2m} l r \cos \theta \sin \lambda \quad (12.9)$$

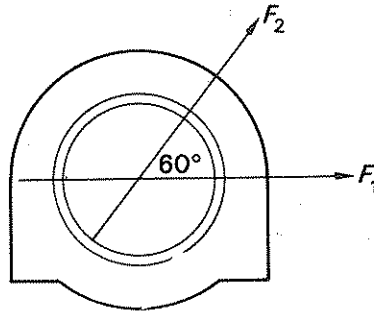
يمكن أن نلاحظ من اي من مقادير العزم أن افضل زاوية عزم هي

$$\lambda = \frac{1}{2} \pi$$

وهذه تحدث حينما يصنع F_1 و F_2 أزوايا قائمة مع بعضهما . وفي هذا الوضع تقع أعظم كثافة تيار A_{2m} في أعظم كثافة التدفق . ويمكن تثبيت زاوية الطور باستخدام ترتيب لفائف مناسبة كلفائف المبدل ان تركيب مثل هذه اللفاف مشروح في الفقرة 9-10 وفي كافة الحالات فان زاوية الطور يمكن أن تتغير من الصفر فما فوق . ان الفقرة هذه مركزة على مثل هذه الحالات . في الدوار دائري الشكل في المكائن اسطوانية الساكن والمبينة في شكل 5-12 ، سنجد من المناقشة التالية ان نماذج التيار وزاوية الطور تكون بحيث ان العزم يكون باتجاه عكس عقارب الساعة ويكون الدوران في نفس الاتجاه بالنسبة لعمل المحرك . واذا عكست زاوية العزم فان العزم ينعكس ايضاً . ويكون الدوران بعكس عقارب الساعة بالنسبة الى عمل المولد . ان كافة المكائن ذات الاقطاب غير الناتئة الاساسية اي ذات الساكن الاسطواني والتي تهمننا . تحوي هذا النموذج من التيار . وتنتج الفروق بينهما من الطرق الممكنة نماذج صفائح التيار الجيبية .

مثال (2-12) مولد تزامني بدائي ذو قطبين و 50 هرتز و 60 كيلوواط كالمبين في شكل 9-12 . يحوي صفائح تيار جيبية حول كل من الدوار والسكن لكي يعطي محاورق . د. غ. مزاحة بزواية مقدارها 60° ، فإذا فرضنا ان اللب مثالي وان الفجوة الهوائية هي المسؤولة عن كل معاوقة الدائرة المغناطيسية وكان طول الفجوة الهوائية نصف القطرية المنتظمة يساوي 2.5 ملم ، وطول الدوار فعليا يساوي 500 ملم ونصف قطره 200 ملم . اذا علمت المولد يعمل دون فقود وبكثافة سطحية عظمى للتيار على الدوار تساوي 1000 أمبير لكل زاوية نصف قطرية ، أوجد ما يلي حينما يدور الدوار بسرعة $2\pi 50$ زاوية نصف قطرية بالثانية :

أ. قيمة ذروة كثافة تدفق الفجوة الناتجة من الساكن لوحده
ب. كثافة التيار الذروة على الساكن



شكل 9-12

$$M_E = \frac{P_M}{\omega_r} = \frac{60000}{2\pi 50} = 191 \text{ Nm}$$

$$= B_{1m} A_{2m} l r \pi \cdot \sin \lambda$$

$$= B_{1m} \times 1000 \times 0.5 \times 0.2 \times \pi \times 0.866$$

$$B_{1m} = 0.7 \text{ T}$$

$$F_1 = \frac{B_{1m} l_g}{\mu_0} = \frac{0.7 \times 2.5 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7}} = 1400 \text{ At}$$

$$F_1 = A_{1m}$$

$$A_{1m} = \underline{1400 \text{ A/rad}}$$

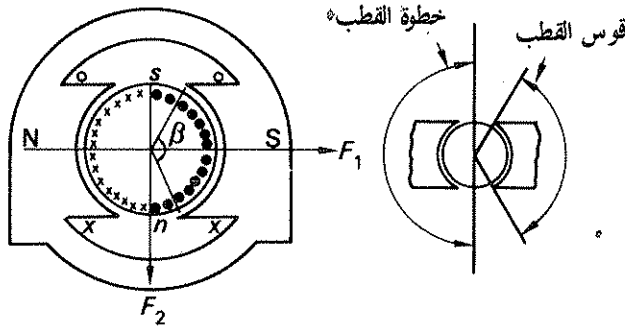
ولكن

5-12 المكائن ذات القطب الناتيء

لاحتوي كافة المكائن على فجوة هوائية منتظمة كالموجودة في المكائن اسطوانية الساكن والبديل الشائع أكثر من غيره هو الماكنة ذات القطب الناتيء . وهذا الترتيب يستعمل بصورة خاصة عندما تشغل المكائن من تيار مستمر . ففي مثل هذه الحالات يفترض في كثافة التدفق ان تكون منتظمة بين قطبي الدوار كما موضح في شكل 10-12

ان كثافة التدفق في الفجوات الهوائية الناتجة من اثاره ملفات الساكن تكون منتظمة على طول زاوية

القطب β ، وتمثل بـ B_1 .
 ومن المناسب اخذ متوسط كثافة التدفق هذه على طول المسافة بين مركزي القطبين . .
 ان مجال الساكن لم يعد بإمكانه ان يدور ، ومن ثم فان محور الق . د.غ . له يكون ثابتا في الفراغ .
 مما ينتج عن ذلك ان محور الق . د.غ . في الدوار يجب ان يكون ساكناً في الفضاء اذا كان المطلوب
 توليد عزم مستمر . وبالرغم من ان محور الق . د.غ . للدوار يكون ساكناً ، فان الدوار يجب ان يدور .
 ويمكن تحقيق ذلك بلفائف تبديل (commutator winding) . ان احدى النتائج لهذه
 الطريقة من التركيب هي الحصول على كثافة تيار A_2 منتظمة حول الدوار .
 نظراً لان محاور الق . د.غ . ثابتة ، فانه بالامكان عمل ترتيب بحيث تكون زاوية العزم تساوي $\frac{\pi}{2}$
 معطية اكبر ما يمكن من عزم .



شكل 10-12 ماكينة ذات القطب الذاتي

ان التحليل يتم باستخدام طريقة القوة المسلطة على الموصل الحامل للتيار ، لذلك

$$dM_E = -B_1 A_2 l r . d\theta$$

$$M_E = -2 \int_0^\beta B_1 A_2 l r . d\theta$$

$$= -2\beta B_1 A_2 l r \quad (12.10)$$

وباستخدام كثافة التدفق على طول المسافة بين القطبين

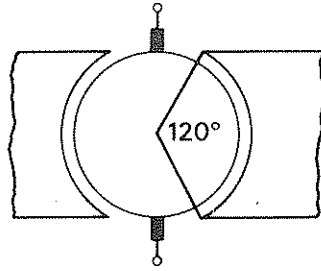
$$M_E = -2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} B_{1av} A_2 l r . d\theta$$

$$= -2\pi B_{1av} A_2 l r \quad (12.10.1)$$

اذا كان كل من A_2 و B_{1av} هما قيمتا الدورة للكمتين المتغيرتين جيئياً بينهما فرق طور مقداره ϕ ، فينتج من ذلك كما مر بنا سابقاً :

$$M_E = -\pi B_{1av} A_2 l r \cos \phi \quad (12.10.2)$$

- مثال (3-12) ما كنة ذات قطب ناتبيء دوار من النوع الحاروي لمبدل كما مبين في الشكل 11-12 .
 فاذا كان نصف قطر الدوار 40 ملم والطول المحوري الفعال له يساوي 60 ملم :
- (1) اذا كانت لفائف الساكن عند عملها لوحدها تنتج كثافة تدفق نصف قطري منتظم مقداره $\frac{1}{2}$ تيسلا على سطح الدوار على طول قوس القطب البالغ 120° . وكانت الكثافة السطحية لتيار الدوار ذات قيمة منتظمة مقدارها 200 أمبير لكل متر . احسب مقدار العزم على الدوار .
 - (2) اوجد التجاذب المغناطيسي بين كل قطب والدوار .
 - (3) اذا دار الدوار بسرعة 100 زاوية نصف قطرية بالثانية . ما قيمة القدرة الميكانيكية الناتجة ؟



شكل 11-12

يلاحظ بان كثافة التيار السطحي معطاة بالأمبير لكل متر . لذلك من الضروري تحويلها الى أمبير لكل زاوية نصف قطرية . ان محيط الدوار يعادل (2π) من الزوايا نصف القطرية . لذلك فان زاوية نصف قطرية واحدة تقابل سطحها طوله r . ومن التناسب ينتج

$$\begin{aligned}
 A_2 &= 2000 \text{ A/m} \\
 &= 2000 \times 0.04 = 80 \text{ A/rad} \\
 M_E &= 2\beta B_1 A_2 lr = 2 \times \frac{120}{180} \times \pi \times 0.5 \times 80 \times 0.06 \times 0.04 \\
 &= 0.4 \text{ Nm} \\
 F &= \frac{B_1^2 A}{2\mu_0} = \frac{B_1^2 \beta r l}{2\mu_0} = \frac{0.5^2 \times 120 \times \pi \times 0.04 \times 0.06}{2 \times 180 \times 4\pi \times 10^{-7}} \\
 &= 500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

لاحظ ان القوة الكلية على موصلات الدوار تساوي

$$\begin{aligned}
 f_E &= \frac{M_E}{r} = \frac{0.4}{0.04} = 10 \text{ N} \\
 P_M &= M_E \omega_r = 0.4 \times 100 = 40 \text{ W}
 \end{aligned}$$

ان الماكائن المزودة الاثارة التي شرحت في الفقرة السابقة كانت كلها مكائن دوارة . الا انه بالامكان عمل مكائن خطية تعمل على نفس المبادئ . ان الانتقال من الحركة الدورانية الى الحركة الخطية يمكن افتراضه بفعل (unrolling) ترتيب الساكن والدوار للماكنة الدورانية باستخدام خط مستقيم . وهذا ينتج انتقال قصير . ومن ثم فان الدوار او الساكن للماكنة الخطية يجب ان يمتد على طول مسافة الحركة المطلوبة .

لا نرغب هنا ان نعطي تحليلاً كاملاً لأي من أنواع الماكائن الخطية نظراً لأن مثل هذا التحليل سيكون عادة لتحليل الماكائن الدورانية لحد بعيد ولكن المثال التالي سيلفت النظر الى اهم الفروق بين الماكائن الدورانية والماكائن الخطية . ففي اي ماكنة من النوع مزدوج الاثارة هناك شكلان أساسيان من أشكال القوة أثناء الشغل : اولاهما هي القوة الجانبية المستخدمة لتوليد حركة مفيدة . وثانيهما هي قوة التجاذب بين السطحين المحيطين بالفجوة الهوائية .

ان القوة الأخيرة بصورة عامة تكون اكبر بكثير من القوة الأولى . ولحسن الحظ فانه في الماكائن الدوارة تكون قوة تجاذب الدوار نحو القطبين هذه متعادلة نظراً لوجود قوة مساوية باتجاه كل من القطبين المتقابلين قطرياً . لذلك فان التأثير لا يظهر في الماكائن الدورانية .

اما في الماكائن الخطية فلا يحدث هذا التوازن مما ينتج عنه وجود مشكلة في التعامل مع التجاذب بين الدوار والساكن ، حيث يزداد الاحتكاك بين السطحين التماسين للماكنة وذلك مفيد عند استخدامه لأغراض النقل .

واخيراً يجب ان نلاحظ انه رغم ان القوة يمكن اشتقاقها من الفعل المتداخل لصفحة التيار A_2 مع كثافة التدفق B_1 الناتجة من F_1 حينما تعمل لوحدها الا ان التدفق الحقيقي يعتمد على الق . د . ك . الكلية لكافة اللغائف لكل من العضوين . وهذا التدفق يتزحزح ويتكيف بالقيمة نتيجة رد فعل المتحرض F_2 الذي هو شرط أساسي لعمل كافة الماكائن من النوع ذي الاثارة المزودة . وبعبارة لا يوجد محاور ق . د . غ . لكي تتحاذى .

مثال (4-12) يبين الشكل 12-12 جزءاً من محرك خطي يعمل بالتيار المستمر . ثبت نظام الاقطاب (الساكن) لكي يعطي كثافة تدفق منتظمة مقدارها 0.4 تيسلا تحت حدائي القطب :

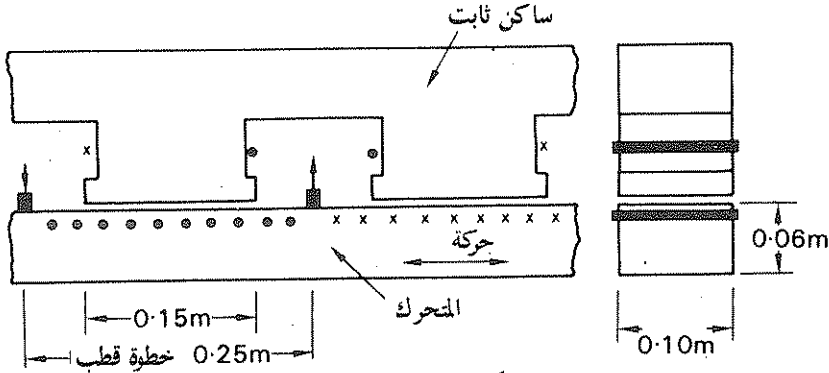
(1) ما قيمة قوة التجاذب الكلية على المتحرك (runner) في كل مسافة قطب ؟ هل يكفي ذلك لرفع المتحرك عمودياً ؟ صنع المتحرك من صفائح لب ذي كثافة كتلية مقدارها 7700 كيلو غرام للمتر المكعب . كما صنع لكي يتحرك أفقياً ولكي يحمل لغائف مكافئة للغائف مبدل اعتيادي والذي يغذي فيه التيار من فرش (brushes) ثابتة لكي تعطي تياراً منتظماً التوزيع قيمته 10 كيلو أمبير لكل متر .

(2) هناك قوة كهرومغناطيسية أفقية على المتحرك . لماذا ؟ ما اتجاهها وما مقدار قيمتها لكل مسافة

قطب ؟

(3) اذا اوصل (switched on) تيار المتحرك حينما يكون المتحرك ساكناً ودون أن يكون

مربوطا به أي حمل ميكانيكي . ما قيمة تعجيله الابتدائي ؟ أهمل الاحتكاك .



شكل 12:12

ان قوة التجاذب لكل خطوة (pitch) بين الاقطاب

$$F_a = \frac{B^2 A}{2\mu_0} = \frac{0.4^2 \times 0.15 \times 0.1}{2 \times 4\pi \times 10^{-7}} = 960 \text{ N}$$

وكتلة المتحرك لكل خطوة

$$m = 0.1 \times 0.06 \times 0.25 \times 7500 = 11.3 \text{ kg}$$

وقوة التجاذب لكل خطوة

$$F_g = 11.3 \times 9.81 = 110 \text{ N.}$$

لذلك فان قوة التجاذب تكون كافية لرفع المتحرك .

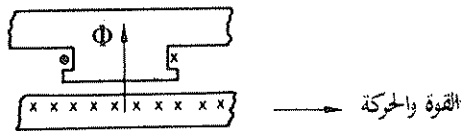
ان التيار الفعال لكل خطوة =

$$\begin{aligned} &= 10 \times 0.15 = 1.5 \text{ kA} \\ &= 1500 \text{ A} \end{aligned}$$

والقوة الجانبية لكل خطوة :

$$F_1 = BIl = 0.4 \times 1500 \times 0.1 = 60 \text{ N}$$

ان القوة الجانبية والتي يمكن توضيحها وفق قاعدة الموصل الحامل للتيار يكون اتجاهها معطى بقاعدة



شكل 13:12

اليد اليسرى . ويوضح الشكل 13-12 اتجاهها . أما تعجيل المتحرك فيكون

$$a = \frac{F_1}{m} = \frac{60}{11.3} = 5.3 \text{ m/s}^2$$

7-12 النظرية عند التطبيق

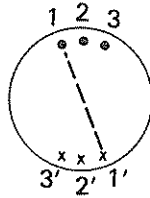
ان المناقشة على المكائن مزدوجة الاثارة لم تتضمن أي اشارة الى الوسيلة التي تصنع بها وضعيات المكائن المختلفة عملياً . وبالاخص قد يتساءل القارئ كيف يمكن صنع المكائن بحيث يكون التيار موزعاً بشكل جيبي حول سطحي الفجوة الهوائية . فمن الناحية العملية لا يمكن تحقيق هذه المطالب المتألية . الا انه يمكن تحقيق تقريب متزايد الجودة لها .

ان الوسيلة التي يتم بها هذا التقريب تحدد النوعية الخاصة للماكنة فعلى سبيل المثال قد تكون محركاً حثياً ذا قفص السنجاب (squirrel-cage Induction motor) مثلاً او قد تكون مولداً متوازيماً (Shunt generator) للتيار المستمر . وعلى أي حال فان العزم المشتق فيما سبق ينطبق في كل حالة يكون بها نماذج صفيحة التيار وزاوية العزم كما مبين أعلاه . واذا دارت الماكنة فان النموذج يجب أن يستمر مهما كان الدوران . أي أن طاقة المجال تحت ظروف وضع الاستقرار تبقى كما هي من ناحية الكمية . ولكن ربما تتغير في توزيعها الخاص . ومرة أخرى فان الوسيلة التي بها يتم ذلك تحدد نوع الماكنة والظواهر البارزة الرئيسية هي نوعيات اللثائف ونوعيات المصدر .

تبين الفقرات التالية نوعين من اللثائف هما لثائف الطور ولثائف المبدل (commutator winding)

8-12 لثائف الطور (Phase windings)

سبق أن لاحظنا ان الملف البسيط ذا اللثة الواحدة لا يكفي لمعظم المكائن . ومن ثم فان عدداً كبيراً من اللثائف يجب أن يستخدم . ان هذه اللثائف يجب أن توزع على طول سطحي الفجوة الهوائية بشكل مناسب بسبب



شكل 14-12 لثائف الطور البسيطة

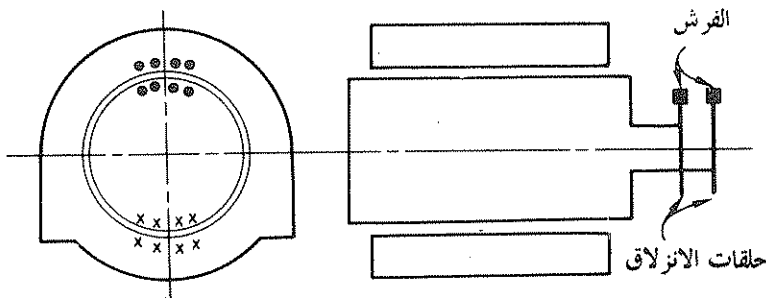
الحاجة الفيزيائية من ناحية وبسبب تحسين الاداء من ناحية أخرى . لنفترض الوضعية البسيطة المبينة في شكل 14-12 يعمل الموصل 1 على تكوين عزم على فرض أن وضعية الموصلات تقع في مجال مغناطيسي مناسب . وان العزم مأخوذ حول مركز الوضعية . ان الموصل 1' والذي يبعد عن الاول بمسافة الخطوة

(pitch) و ينتج عزمًا مشابهًا . لذلك عند ربط 1 و 1 مع بعضهما البعض فإنهما يكديان دورة كاملة كما في المكنات البسيطة ويمكن زيادة عدد اللفات بربط 2 و 2' و 3 و 3' مع بعضها على التوالي لغرض استخدام المجال المتوفر . وعلى فرض تجهيز عدد كافي من اللفات مضافة لبعضها لا يزال هناك نهايتين متميزتين للفائف ويقال عن هذه اللفاف بانها لفائف الطور .

تعطي لفائف الطور شريطين من الموصلات على التوالي . وهذان الشريطان متعاكسان قطريا وربما يغطيان كل أو جزء من سطح الفجوة الهوائية . ان الموصلات التي تصنع اللفات يمكن ان توضع على مسافات متساوية حول السطح . أو ربما على مسافات غير منتظمة . وبغض النظر عن الوضعية فان محور الق. د. غ. يكون ثابتا بالنسبة للفاف ويدور فقط اذا دارت اللفاف .

يبين الشكل 15-12 ترتيبا بسيطا يحوي الدوار والساكن وتوصيلات خارجية . حيث يربط الدوار بواسطة حلقات الانزلاق (Slip Rings) . ان حلقة الانزلاق هي عبارة عن اداة يمكن بواسطتها نقل التيار الى الجزء الدوار من الجسم الساكن للماكنة . وتصنع الحلقة بصورة عامة من سبيكة نحاسية وتثبت متمركزة حول العمود الدوار (shaft) مع ربط احدى نهايتي لفائف الدوار معها . ثم تلامس على جسم الماكنة بحيث ينزلق على سطح الحلقة عند دورانها . يدعى هذا التلامس المنزلق بالفرش . وتصنع من كتلة من الكربون عادة .

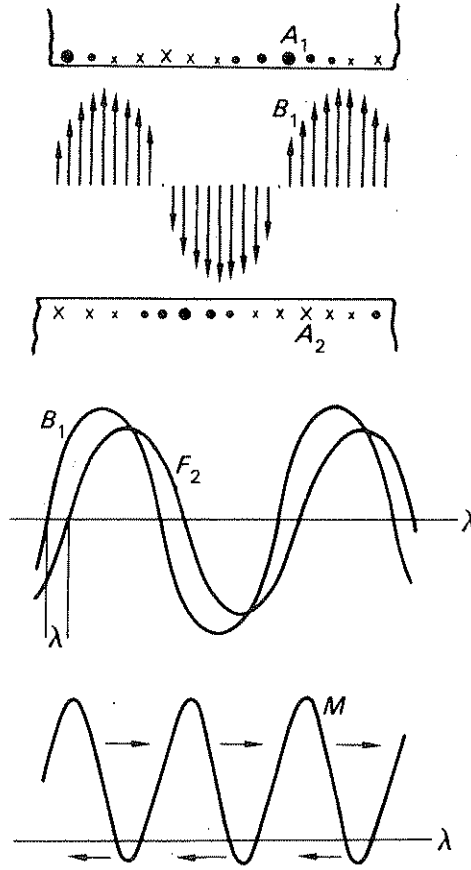
اذا حملت لفائف الساكن تيارا مستقرا وصنعت لكي تنتج مجالاً جيبيًا متغيراً . فان لفائف الدوار عند دورانها تحوي ق. د. ك. جيبيية محتمة فيها . كما يلاحظ أن المجال المنتظم لا يطلب في هذه اللحظة نظرا لان الفجوة الهوائية تضمن ان الموصلات تقطع التدفق دائما بزوايا قائمة . مما ينتج عنه ان توزعها جيبيًا للتدفق يكون الطريق الوحيد لحث ق . ك جيبيية . وهذا هو التبرير صحيح لمبدأ التوزيعات الجيبية للنماذج المختلفة . الا أن ذلك لا يعني ان كافة مكائن التيار المتناوب التي تكون اشكال موجاتها جيبيية . يجب ان تستخدم مثل هذه الترتيبات للفاف الطور . ففي الماكنة المبينة في شكل 15-12 . يمكن تشكيل



شكل 15-12 ماكنة لفائف الطور البسيطة

التوزيع الجيبي بوضع موصلات لفائف الساكن على مسافات مناسبة . وهذا يستوجب وضع عدد من الموصلات قريبا من بعضها يعقبها زيادة تدريجية في المسافات كما مبين في المخطط

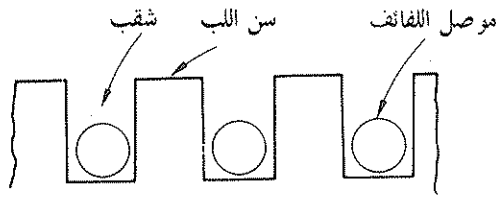
لمثل هذه الانماط الطورية فان الحالة المفترضة مبدئيا في النظرية الموحدة كان التوزيع الجيبي للاق. د. غ. ولكثافة التدفق. ان هذه الكميات الجيبيه يمكن النظر اليها بشكل أسهل من تطوير وضعية الفجوة الهوائية كما مبين في شكل 16.12.



شكل 16.12 اشتقاق الفجوة الهوائية في الماكنة البدائية

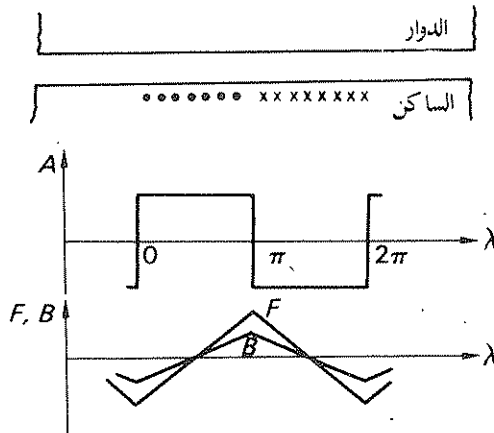
ان المخطط الانشائي هو تطوير مباشر للفجوة الهوائية للماكنة البدائية. وان اشكال الموجات المبينة تحتها مباشرة تؤكد على ازاحة تدفق الساكن و ق. د. غ. الدوار. يعتمد العزم على حاصل ضرب هاتين الكميتين ويتبين في الشكل موجة حاصل الضرب هذا ايضا.

يمكن ملاحظة أنه ليس كل العزم المتكون يعمل بنفس الاتجاه . ولكن بدلاً من ذلك فإن كمية صغيرة من العزم تعاكس العزم الرئيسي . ولهذا السبب فإن هناك صعوبة يمكن ملاحظتها تتعلق بقطبية العزم المشتق ناتجة من القوة على طريقة الموصل الحامل للتيار . ان تأثير $\sin \lambda$ تشابه في هذا التحليل تأثير $\cos \phi$ في تحليل شكل موجة القدرة في دوائر التيار المتناوب الميينة .
تصنع صفيحة التيار من لفائف موزعة بشكل دقيق موضوعة في شقوق (slots) . ان مخططاً متطوراً لسطح الدوار ولسطح الساكن مبين في شكل 17-12 . ان المخطط لم يوسم بمقياس رسم بل كان رسماً تخطيطياً فقط .



شكل 17-12 الموصلات في الشقوق

في الوقت الذي يسبب هذا التركيب مقداراً معيناً من الاستمرارية في التوزيع المنتظم للتدفق فإن أسنان اللب (core teeth) تقلل من التأثير في الفجوة الهوائية . لذلك فإن التدفق يظهر وكأنه ناتجاً من صفيحة تيار . وكما هي الحال عند ايجاد الق . د . غ . في اي نقطة على السطح باخذ تكامل التيار المحاط بالمر القطري . وفق قانون الشغل . فان تحليلاً مشابهاً يمكن ان يتم باخذ تكامل حاصل ضرب التيار والموصلات . لذا فان كثافة تيار الصفيحة السطحي تقاس بالامبير - موصل / زاوية نصف قطرية . بالرغم من ان الموصلات بالحقيقة هي عوامل لا تحوي على بعد كما كانت اللفات عاملاً لا بعد له . ان توزيع الق . د . غ . المبين في شكل 18-12 وشكل 19-12 مشتق بهذه الوسيلة .

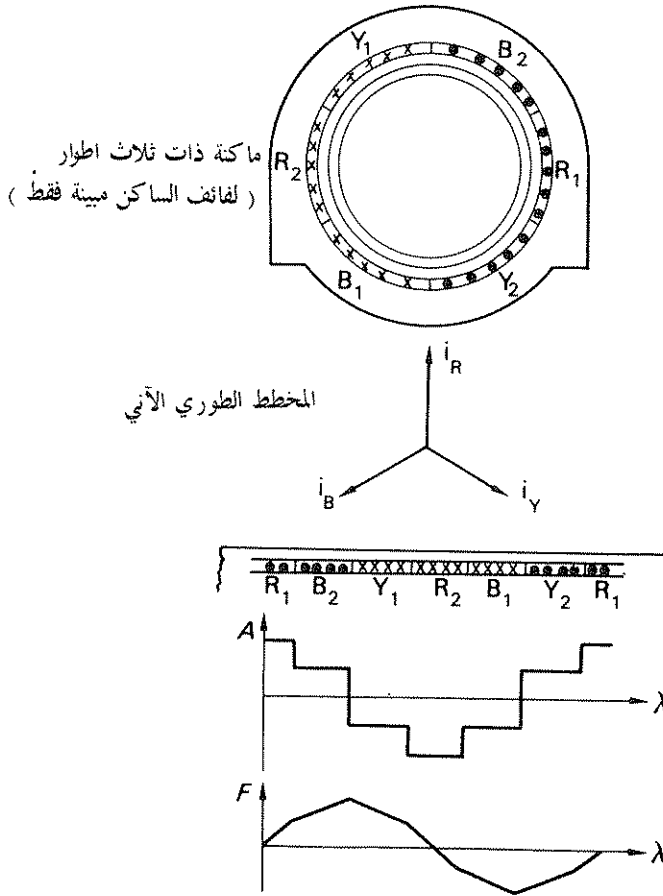


شكل 18-12 لفائف منتظمة مجهزة بمصدر منفرد

وابسط لفائف طور هي تلك التي تغذى من مصدر واحد . وهذه تنتج نماذج كثافة تدفق كالمبين في شكل 18-12 والتي تقرب بشكل غير دقيق الى موجة ذات شكل جيبسي . ولهذا تبين احتمالات متميزة لانتاج النماذج المطلوبة للماكينة البدائية .

ان اللفائف المستخدمة لتحليل نموذج المجال هذا منتظمة . اي ان كافة الموصلات موزعة على مسافات متساوية . وكما سبق ذكره فان اللفائف كان يمكن ان ترتب بمسافات متغيرة فيما بينها لكي تولد اشكال موجة جيبية اكثر دقة .

ان اهم مساويء اللفائف احادية الطور او لفائف الطور للتيار المستمر مهما كانت طريقة التجهيز هو ان محور الق . د . غ . يبقى ثابتا في الفراغ بالنسبة الى اللفائف وهذه الصعوبة يمكن التغلب عليها باستخدام وضعيات ملفات طور اكثر تعقيدا .



شكل 19-12 وضعية لفائف ذات ثلاث اطوار.

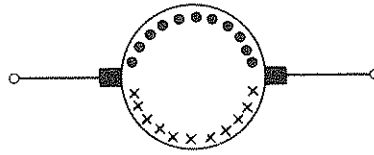
ان اكثر وضعات اللفائف المعقدة الشائعة هي الخاصة باللفائف ذات الثلاث اطوار والمتبنة بتبادليا على مسافات 120° فيما بينها . ففي الوقت الذي تجهز هذه اللفائف بالتيارات المستمرة المناسبة . من الاعيادي تجهيزها من مصدر للتيار المتناوب المتوازن ذي الثلاث اطوار . ان الوضعية المحللة في الشكل 19-12 قد رسمت للحظة المبينة في مخطط الطور الآتي حيث يتبين ان اشكال موجة الوجة تظهر قريبة بشكل معقول من شكل الموجة الجيبي . ولكن يجب ان يلاحظ ان اشكال موجة اللفائف تغير وفق اللحظة التي اختبرت فيها بالرغم من ان التوزيع الجيبي يحافظ على شكله .

ان هذه الوضعية ذات فائدة مهمة بالمقارنة مع لفائف الطور الواحد التي نوقشت اعلاه . حيث انه مع مرور الزمن يتحرك توزيع شكل الموجة حول الفجوة الهوائية . فعلى سبيل المثال . اذا كان المخطط قد رسم بعد ذلك بـ $\frac{2\pi}{3\omega}$ ثانية . فان نماذج شكل الموجة ستزاح بـ $\frac{2\pi}{3}$ زاوية نصف قطرية . لذلك فان اللفائف ذات الثلاث اطوار لتتركب منتظم بسيط تنتج نموذج مجال جيبي يدور . حينما يجهز من تيارات ثلاثية الاطوار

واخيرا فان وصفا مشابهها يحدث مع اللفائف ذات الطورين المجهزة من مصدر ذي طورين او اي مزج متناسب بينهما . وكلما كان عدد اللفائف المستخدمة مع عدد اطوار المصدر العائد لها اكثر . كان الاقتراب من الظروف الجيبيية . افضل الا ان اللفائف ذات الثلاث اطوار بصورة عامة تكون مرضية تماما .

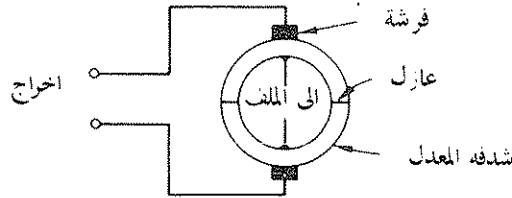
9-12 لفائف المبدل (Commutator Windings)

ان احد خواص لفائف الطور هو الوضعية التي يتحرك بها محور ق . د . غ . اللفائف مع اللفائف نفسها . ولغرض ابقاء وضع محور الق . د . غ . ثابتا في الفراغ في الوقت الذي تدور فيه اللفائف الام نجد من الضروري استخدام لفائف المبدل . ان لفائف المبدل هي تطوير لفائف الطور المنتظمة البسيطة حيث تستمر لفائف الخطوة الكاملة (Full pitch) حتى تتم تغطية سطح الدوار بصورة كاملة ثم تربط نهايتا اللفائف مع بعضهما لذلك فان اللفائف تكون متناظرة عند النظر اليها من اي موقع . ان نهاية اي لفة (او ملف) تجلب خارجا الى قطعة من النحاس مثبتة بوضعية اسطوانية بحيث ان كل قطعة تكون منفصلة عن جارتها ثم ينقل التيار للملفات خلال فرش من الكاربون تنزلق على السطح الاسطواني المصنوع من تلك القطع . ان هذه الوضعية تدعى بالمبدل وتكون الفرش مشابهة لتلك المستعملة في طريقة الحلقة المنزلة لتجميع التيار . الا ان المبدل والحلقة المنزلة مختلفان تماما الاختلاف في عملهما . يمكن باستخدام المبدل عمل ق . د . غ . تبقى صانعة 90 (أو أي زاوية مطلوبة اخرى) مع محور الق . د . غ . لمجال الساكن . والتمثيل العام لللفائف المبدل مبين في شكل 20-12 .



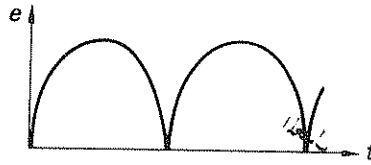
شكل 20-12 تخطيط توضيحي للمبدل

يمكن الحصول على فكرة واضحة عن عمل المبدل بافتراض ماكنة بسيطة ذات لفة واحدة . حيث الملف في مجال منتظم وهذه اللفة بخلاف المكائن ذات اللفائف الحاوية على لفات عديدة . فانها لا تكمل دائرة كاملة بنفسها بل تحتاج نهاياتها ان تجلب خارجا الى مبدل ذي شفتين (segments) . ان الشدفة هو اصطلاح يستعمل لوصف قطع النحاس التي تكون المبدل ويمكن تصور المبدل في هذه الحالة على أنه اسطوانة فارغة من النحاس المزاحة محورياً الى جزئين مثبتين على العمود الدوار الحامل للملف وتكون هذه القطع معزولة عن بعضها البعض . عند دوران الملف في المجال فان الق . د . ك . المولدة في المجال تنقل باستخدام الفرش كما موضح في شكل 21-12 .



شكل 21-12 مبدل منفرد

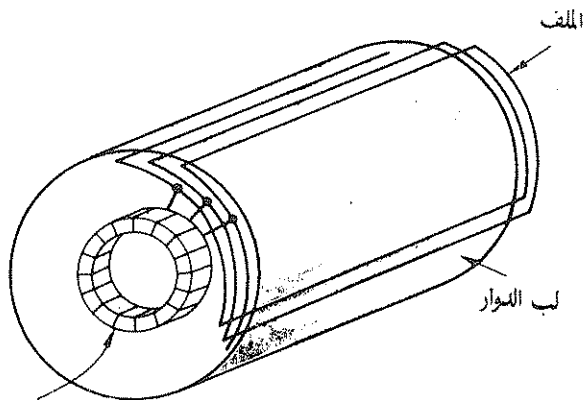
يمكن تصور المبدل على أنه زر عاكس ذاتي (Automatic reversing switch) وتكون ربطات الملف متغيرة مرة كل نصف دورة . لذلك فان طرف الملف مربوط على قمة الفرشة يمر بنفس قطب المجال وان الق . د . ك . المحتمة في الملف تتغير جيئاً كما في الملف الذي يدور في مجال منتظم . ولكن بسبب فعل الفتح والغلق للمبدل فان فرق الجهد الناتج بين الفرش يكون له نفس القطبية وبهذه الطريقة فان الق . د . ك . المتناوبة تتحول الى ق . د . ك . مستمرة . وتلقط الق . د . ك . الناتجة من قبل الفرش كما مبين في شكل 22-12 . ان شكل الموجة مشابه للتيار المتناوب المعدل (انظر الفصل 14) . وبالحيقة هما نفس الشكل .



شكل 22-12 ق د ك الفرشة لماكنة بسيطة

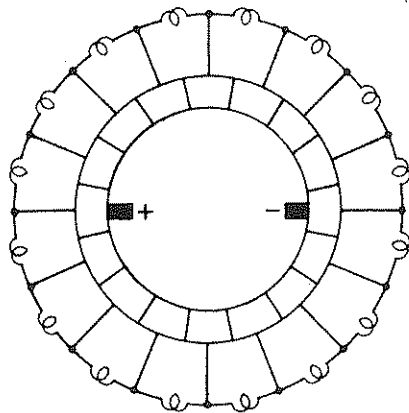
يجب أن نلاحظ ان الفرش موضوعة بحيث عندما تكون الشدفتان بتماس مع نفس الفرشة . فان اللفائف لا تقطع أي تدفق ملموس . ومن ثم لا تتولد ق . د . ك . واذا صنعت ذلك فان تيار دورة قصر ملموس يسري حول الملف وخلال الفرشتين . الا ان المكائن العملية تحوي على ملفات عديدة كما تحوي على قطع مبدل متعددة تشكل اللفائف ملفاً مستمراً . ويخدم المبدل كزر ضروري لضمان عملية التبديل والتي أشير اليها سابقاً .

ان لفائف المتحرض تكون مشابهة لشكل الطبل (Drum) وفي هذه الوضعية يحتوي كل ملف على لفة او عدد من اللفات المرتبة بحيث يكون ضلعها على مسافة تساوي خطوة قطب تقريباً . وهذا يضمن كون الق . د . ك . المولدتين في ضلعي الملف مضافتان لبعضهما البعض . حيث ان اللفائف ترتبط مع بعضها على التوالي وتجلب كل نقطة مفترق خارجاً الى قطعة المبدل . وبين الشكل 23-12 تركيباً للملف ذي قطبين .



شكل 23-12 تركيب ملف لفاائف الدوار

ان اللفائف الناتجة يمكن تبيانها بشكل تخطيطي كما مبين في الشكل 24-12 . حيث يتضح ان كافة اللفائف قد ربطت على التوالي لكي تكون دائرة كاملة . ويمكن توصيل الدارة بالفرش حيث يتكون ممران للتيار خلال اللفائف وتشكل اللفائف دائرة كاملة او مستمرة وتدعى أحياناً باللفائف المستمرة بدلاً من لفائف المبدل . ان كلا الاصطلاحين مقبولان الا اذا كانت الماكينة ذات لفة واحدة . فبالرغم من أن كل ملف مبين تخطيطياً على أنه يحتوي على لفة واحدة . الا انه يجب أن يلاحظ ان عدداً أكبر من اللفات يمكن أن يستخدم

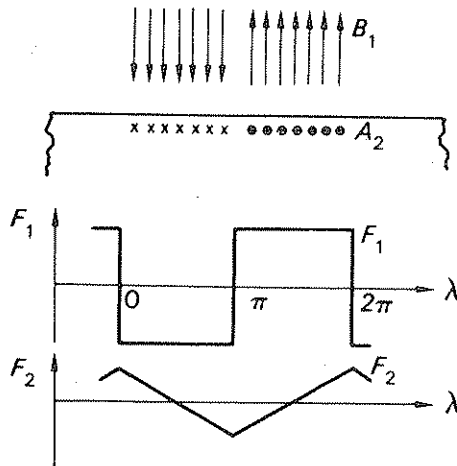


شكل 24-12 تخطيط للفاائف المبدل ذي القطبين

باستخدام لفائف المبدل يمكن التغيير الى النقاط التي يغذى اليها التيار نحو اللفائف دون تغيير وضعية نموذج المجال المغناطيسي . فاذا تحركت اللفائف الى الامام او الى الخلف بمقدار شدة واحدة بالنسبة الى المبدل فان نموذج التيار يبقى في اللفائف ظاهرياً كما هو دون تغيير . بالرغم من أن التيارات في عدد من الملفات قد انعكس او تبدل . وبهذه الطريقة تبقى زاوية العزم دون أن تتغير نتيجة حركة الدوار ومن ثم فان الحركة الدورانية تغدو ممكنة .

بترتيب لفائف مستمرة حول سطح الدوار ينتج من تناظر التركيب ان ضلعي الملفين ينطبقان في نفس الشق وبفرض التناظر وما يتبعه من فوائد فان كل ملف يحوي على ضلعين احدهما يوضع في قمة الشق والصلع الآخر في قعر الشق .

ولفرض انتاج المجال المنتظم الذي اوضحت فيه لفائف المبدل في الفقرة 5-12 فان ساكناً ذا قطب ناتئ يجب أن يستخدم ويبين الشكل 25-12 توزيع الق . د . غ . الناتجة . ان بديلاً مناسباً لترتيب التلامس المتزاحق يكمن باستخدام التايروسترات



شكل 25-12 وضعية لفائف المبدل

(Thyristors) . وهي ازرار من مادة نصف موصلة يمكن ان تفتح وتغلق بنبضات كهربائية . وقد استخدمت الاخيرة في كثير من المكنات لاغراض السيطرة على السرعة . يمكن اثاره كل من المبدل ولفائف الطور بتيار مستمر او متناوب وتنتج لفائف المبدل ق . د . غ . مستقرة باستخدام اثاره بالتيار المستمر وتكون هذه الق . د . غ . متجهة باتجاه محور الفرش بينما تنتج اثاره التيار المتناوب ق . د . غ . نبضية وتنتج لفائف الطور ق . د . غ . مشابهة بنفس اتجاه لفائف المحور .

10-12 اصناف (Families) الماكنة الكهربائية

كما يجب ملاحظته ان الوضعيات الفيزيائية للفائف بالنسبة الى المجالات تحدد انواع الماكنتات . وفي ضوء انواع الفائف المستخدمة . بالامكان تكوين ستة اصناف من الماكنتات الكهربائية :

الصف	التدفق	الملفات	التوصيلات	النوع
1	ثابت	متحرك	مبدل	ماكنة مبدل تيار مستمر
2	ثابت	متحرك	طور	ماكنة متزامنة
3	متناوب	ثابت	مبدل	
4	متناوب	ثابت	طور	محصول
5	متناوب	متحرك	مبدل	ماكنة مبدل تيار متناوب
6	متناوب	متحرك	طور	ماكنة حثية

ان الصف الثالث غير مهم ، بالرغم من ان احد الامثلة العملية عليه هو الترانسفرتور (transverter) . أما الاصناف الباقية فتمثل باكثر امثلتها انتشارا في الواقع العملي . وبالرغم من انه ليس من هدفنا في كتاب اساسي مثل هذا وصف هذه الأنواع بالتفصيل . الا انه من المناسب تقديم توضيح للمكائن التزامنية والحثية ومبدل التيار المستمر .

11-12 المكائن التزامنية والحثية

ان اكثر اشكال المكائن التزامنية انتشارا هو المولد التريبيني (turbo-generator) ذي الثلاث اطوار المستخدم في تجهيز الكهرباء وكذلك في محطات التوليد الصناعية . وبالرغم من ان هذه الاخيرة اصغر في تقنياتها من مثيلاتها في مؤسسة الكهرباء فانها تولد من الطاقة الكهربائية للصناعة مثلما تولد مؤسسة الكهرباء .

تحتوي الماكنة التزامنية على لفائف ذات ثلاث اطوار في الساكن . بينما يجهز الدوار من تيار مستمر . لذلك فان مجال الساكن يدور بينما يبقى مجال الدوار ساكناً وبالاحص بالنسبة للدوار . يمكن المحافظة على استمرارية العزم اذا استمرت المجالات بالدوران متزامنة . وهذا يكون ابسط الامثلة العملية للماكنة البدائية المبينة في شكل 5-12 . حيث ان العزم يكون عزمنا بحثنا بالفعل المتداخل . يدور مجال الساكن بسرعة تزامنية ω_1 . بينما تكون السرعة الزاوية للدوار ω_r . وتكون ω_1 مساوية الى ω_r للمكائن التزامنية . يمكن لهذه الماكنة ان تعمل اما كمحرك او كمولد اعتمادا على كون مجال الساكن يسبق او يتخلف عن مجال الدوار .

تحتوي بعض المكائن التزامنية على اقطاب ناتئة . ولكن بخلاف ما هو مبين في شكل 10-12 فان الاقطاب الناتئة تكون على الدوار . بينما يكون الساكن اسطواناني الشكل . ان تأثير التواء هو ان محاذة

الدوار واختلافه التبادلية تتغيران مع دوران المجالين أحدهما بالنسبة للآخر. كما ان هناك عزمًا يعود الى الحاذة الجاهة الى العزم الناتج من الفعل المتداخل .
هناك تطبيقات متعددة جدا للمكائن وبالاخص للمحركات التي تعمل بسرعة ثابتة . الا ان الماكينة الحثية لها استخدامات أكثر تعددا وهي تأخذ الشكل المبسط للماكينة الميية في شكل 5-12
دائما ، ولكن دون وجود مصدر خارجي للدوار . حيث بدلاً من ذلك يدور الدوار بسرعة مختلفة عن السرعة التزامنية . وتحت الحركة الناتجة بالنسبة لمجال الساكن نماذج لتيارات في لفائف الدوار والتي هي لفائف مغلقة . ان السرعة النسبية تحدد تردد الاق . د . ك . المحتنة في الدوار وكذلك ممانعة الدوار . من ذلك يتبع ان سرعة الدوار تحدد قيمة صفيحة تيار الدوار وأخيراً فان ذلك يحدد العزم الذي تنتجه الماكينة .
ان مما يجب ملاحظته ان كلا من نماذج مجال الدوار والساكن يجب أن يبقى متزامناً اذا بقي العزم كما هو عليه . وان نماذج التيار البديائية موجودة في كافة الاوقات ويبقى العزم ثابتاً دون تراوح (Fluctuation) عدا حالة الماكينة ذات الطور الواحد .
تصنع المكائن التزامنية في أغلب الاحيان لكي تعمل من مصادر ذات ثلاث أطوار . الا أن حالة تشلد عن ذلك وهي حالة المحرك المعاو في ذي الطور الواحد الذي سبق شرحه في الفقرة 2-12 . ان المكائن الحثية ذات المقننات (ratings) من كيلواط واحد فأكثر تصنع كذلك لكي تعمل من مصادر ذات ثلاث أطوار . أما المكائن ذات المقننات أقل من ذلك فتعمل على طور واحد او في تطبيقات السيطرة الذاتية من مصادر ذات الطورين .

12-12 مكائن المبدل للتيار المستمر (D-C Commutator Machines)

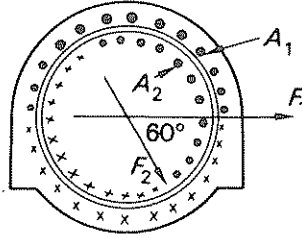
تصنع هذه دائماً بشكل ماكينة كالميية في شكل 10-12 . حيث تجهز لفائف الدوار من خلال ترتيب مبدل وتوضع الفرش بحيث يصنع محور الاق . د . غ . لمجال الدوار زوايا قائمة مع محور الاق . د . غ . لمجال الساكن دائماً . أي ان زاوية العزم تكون في وضعها الامثل (Optimum) .
ان هذا النوع من المكائن يولد عزمًا في أي سرعة كانت . ويكون العزم بنفس الوقت ذا اتجاه واحد ولا يتراوح . ان نفس الشكل من الماكينة يمكن أن يعمل على تيار متناوب . ولكن العزم يصبح نبضياً رغم بقاءه ذو اتجاه واحد . وقد سبق أن بينا ان الاق . د . ك . المحتنة في الملفات تكسون مقوماً (rectifier) بفعل عمل المبدل . ولكن هذا الفعل يتعقد باستخدام تيار متناوب منتجاً قدره صغير جداً من المحركات المبدلة للتيار المتناوب . عدا مكائن خاصة كمحركات النقل (Traction motors)

ان محركات المبدلات للتيار المستمر يمكن السيطرة عليها بسهولة سواء من وجهة نظر العزم أو السرعة . ولهذا السبب فان استخدامها يبرز في التطبيقات حينما يكون اداء السيطرة مهما . الا انه في هذا الاستخدام قد استعيض عن هذه المحركات بالمحركات الحثية المسيطر عليها .

مسائل على المكائن الدوارة

1. ماكينة بدائية ذات قطبين تتوزع تيارات ابتدائيهما (الساكن) وثانويها (الدوار) لكي تعطي محاور الـ ق. د. غ. ازاحة بزاوية مقدارها 60° . ان طول الفجوة الهوائية نصف القطري يساوي 5 ملم وكثافات القيمة العظمى للتيار السطحي هي $A_{1m} = 1500$ أمبير / زاوية نصف قطرية و $A_{2m} = 1000$ أمبير / زاوية نصف قطرية . وكان الطور المحوري للماكينة يساوي 150 ملم وقطر الدوار 200 ملم .
- (أ) كيف يمكن انتاج توزيعات لمثل هذا التيار (بتقريب معقول) في المكائن العملية .
- (ب) باهمال الـ ق. د. غ. المطلوبة في الاجزاء الحديدية . اوجد القيمة العظمى لكثافة تدفق الفجوة واتجاهها الناتج من : (i) الساكن لوحده
(ii) كلا العضوين مع بعضهما
- (ج) اوجد العزم المسلط على الدوار والقوة الميكانيكية المبذولة حينما يدور الدوار بسرعة مقدارها $(2\pi \times 50)$ زاوية نصف قطريه في الثانية

0.38 T, 0.55 T, 15.7 Nm



شكل 26-12

2. ماكينة بدائية ذات قطبين تحوي توزيعات للتيار حول كل من سطحي الدوار والساكن متغيرة جيبياً . وكان كل من اللبين المتمركزين مصنوعين من مادة ذات انفاذية عالية وكان قطر الدوار 200 ملم وطول محوره الفعال 360 ملم والطول نصف القطري للفجوة الهوائية يساوي 0.5 ملم . تتوزع تيارات الساكن بشكل جيبي معطية اكبر كثافة سطحية للتيار مقدارها 2 كيلو امبير لكل متر . وقد مغنط الدوار كذلك على محور مزاح بـ 50° . احسب العزم على الدوار . 17.1 Nm

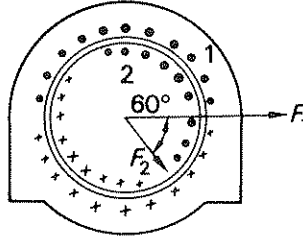
17.1 Nm

3. محرك تزامني بدائي ذو قطبين و 50 هرتر و 10 كيلواط كالمبين في شكل 27-12 . يحوي تيارات موزعة جيبياً في كل من ابتدائيه (الساكن) وثانويه (الدوار) لكي ينتج محوري ق. د. غ. مزاحن بزاوية مقدارها 60° . فاذا كانت كل معاوقة الدائرة المغناطيسية تقع في الفجوة الهوائية . وكانت الكثافة السطحية للتيار الاعظم على الدوار تساوي 1000 أمبير لكل زاوية نصف قطرية . وكان طول

الفجوة الهوائية المنتظمة نصف القطرية 5 ملم . وكان طول الدوار 200 ملم ونصف قطره 100 ملم ويعمل المحرك بحمل تام دون فقود . حينما تكون سرعة الدوار $(2\pi \times 50)$ زاوية نصف قطرية ثانية . احسب :

- أ) العزم الناتج
 ب) قيمة الدورة لكثافة تدفق الفجوة الناتجة من الساكن لوحده .
 ج) كثافة تيار الدورة على الساكن .

32 Nm, 0.59 T, 2340 A/rad (SANCAD)



شكل 27.12

4. محرك ذو قطبين وذو طورين يحوي لبين متمركزين ثابتين . طولهما l مكونين فجوة هوائية حلقيية يوجد على طرفيها مجال دوار نصف قطري موزع جيبيا كثافة ذروته B_m وسرعته الزاوية ω . رتبت اسطوانة نحاسية سمكها نصف القطري b ومتوسط نصف قطرها r لكي تشغل الفجوة . بين ان العزم على الاسطوانة النحاسية (ذات المقاومة p) حينما تكون ساكنة يكون

$$\text{وفق المعادلة : } M = B_m^2 \pi \omega r^3 l \cdot \frac{b}{\rho}$$

(SANCAD)

5. بين الشكل 28.12 مبادئ ماكنة ذات لفائف دوار من نوع المبدل . وكان نصف قطر الدوار 40 ملم وطول لبه المحوري الفعال يساوي 60 ملم .

- أ) وضح لماذا يسلط عزم على الدوار ثم بين الاتجاه الذي يعمل به هذا العزم .
 ب) حينما تعمل لفائف الساكن لوحدها تنتج كثافة تدفق نصف قطرية مقدارها 0.5 تسلا منتظمة على سطح الدوار على قوس مقداره 120° . احسب العزم على الدوار اذا كانت الكثافة السطحية للتيار 2000 أمبير لكل متر من المحيط
 ج) اوجد التجاذب المغناطيسي بين كل قطب والدوار .
 د) اذا دار الدوار بسرعة 100 زاوية نصف قطرية بالثانية . ما مقدار القدرة الميكانيكية المتولدة ؟ وكيف يمكن تجهيز القدرة الكهربائية العائدة لها ؟

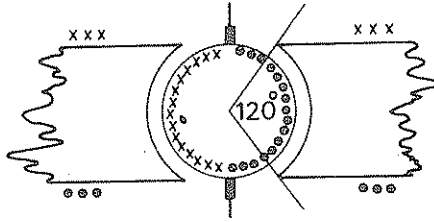
هـ) يتردد تيارا كل من ملفات الساكن والدوار بحيث تكون الكثافة السطحية للتيار الدوار تساوي
($2000 \sin \omega t$)

امبير/متر وكثافة تدفق الفجوة على القوس القطبي تساوي ($0.5 \sin (\omega t - \alpha)$) تسلا .
اوجد العزوم الاعظم والاصغر والمتوسط الناتجة لحالي :

$$30^\circ = \alpha \quad (i)$$

$$90^\circ = \alpha \quad (ii)$$

415 mN m; 239 N; 41.5 W
386 mN m; -27.2 mN m; 180 mN m
207 mN m; -207 mN m; 0 (SANCAD)



شكل 28-12

6. وضح بمساعدة الاشكال وصف كيف تنتج فولتيات النظام ذي الثلاث اطوار في المكائن الكهربية من مجال دوار :

أ) المقطع العرضي لمثل هذه الماكينة موضحا اتجاه دوران المجال بالنسبة للفائف .
ب) اشكال موجة الفولتيات الناتجة .

ارسم مخططا لوصلية التدفق المغناطيسي لمثل هذه الماكينة في الخطة حينما تكون الق. د. ك. المحتملة في إحدى لفائف الطور في قيمتها العظمى

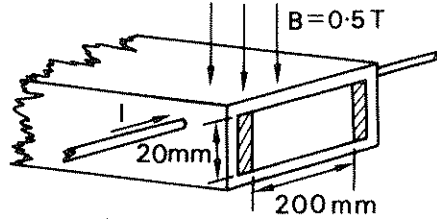
7. بالرجوع الى ماكينة بسيطة . اكتب شرحا قصيرا لتوضيح الفرق بين لفائف الطور ولفائف المبدل . اذكر طريقتين يمكن بواسطتهما الحصول على التبديل .

وضح اهمية زاوية العزم بين ق. د. غ. المجال و ق. د. غ. لرد فعل المتحرض . ما هي زاوية العزم المثلى ؟
يمكن وضع المكائن في ستة اصناف بالاعتماد على كونها تحتوي على لفائف تبديل او طور وعلى الطريقة التي نحصل بها على تغيير في تدفق اللفائف . ناقش تطبيقات هذه الاصناف .

8. قناة طويلة افقية على شكل مستطيل مصنوعة من مادة عازلة تحوي على سائل موصل في احد مناطقها . ادخل قطبان كهربائيان الى داخل جدرانها وامرر تيار خلال السائل . فاطهر ممر الساكن مقاومة مقدارها 0.5 ملي اوم . اوجد التيار والفولتية المسلطان لكي ينتجا سريانا في السائل مقداره 0.005 متر مكعب بالثانية من فرق ضغط دخول وخروج مقداره 100 كيلونيوتن لكل متر مربع . اوجد كذلك كفاءة هذه المضخة الكهرومغناطيسية . افرض ان التيار والمجال المغناطيسيين واتجاهات سريان

السائل موزعة خلال المجرى وانها متعامدة مع بعضها البعض . افرض كذلك ان احتكاك السائل يساوي صفرا .

4 kA; 2.125 V; 0.059 (SANCAD)



شكل 29-12

9. ماكينة دوارة ذات قطبين مجهزة بحيث كانت نماذج توزيع التيارات في ملفات الساكن والدوار جيبيية . وقد ازاحت اقطابها الممغنطة بـ 45° منتجة عزمًا مقداره 12 نيوتن متر . اذا كان توزيع كثافة التدفق في الفجوة الهوائية جيبيية ايضا وذو قيمة عظمى في نقطة المنتصف بين محوري تمغنط لفائف الساكن والدوار . اوجد القيمة العظمى لتوزيع التيار على كل عضو بالامبير لكل زاوية نصف قطرية ، اذا كانت ابعاد الماكينة كما يلي :

الفجوة الهوائية باتجاه نصف القطر 8 ملم

الطول المحوري 0.5 متر

نصف قطر الدوار 0.3 متر

480 A/rad (SANCAD)

الفصل الثالث عشر

الفيزياء الكهربائية

تتعلق خواص العلوم الكهربائية التي مرت سابقاً بالأفعال التي تحدث داخل المواد. ويمكن ان تكون دراسة ذلك معقدة الا أن المهندس الكهربائي يكتفي بمعرفة بعض الأفعال الفيزيائية ومن ثم يطبقها في عمله. أما المهندس الإلكتروني فلا يكتفي بمثل هذه التوضيحات الخاطفة لعمله ولذلك من الضروري اعطاء بعض الأهمية الى الفيزياء الذرية.

1-13 التركيب الذري ومستويات الطاقة

سبق أن بينا في الفصل الأول أن كافة الذرات تحتوي على بروتونات ونيوترونات والكترونات وان عدد البروتونات في الذرة هو احد الأمور المميزة الرئيسية للعنصر، ونظراً لانه في الاوضاع الاعتيادية تكون الذرة متعادلة كهربائياً، لذلك فان عدد الالكترونات فيها يساوي عدد البروتونات، ونظراً لان هذه الالكترونات تتحرك، ويفترض ان لها كتلة، لذلك من الضروري ان تحتوي على طاقة حركية. كما ان هناك قوة تجاذب بين كل الكترون والنواة وان الالكترونات تمتلك طاقة كامنة نتيجة مواقعها في الذرة. ان الطاقة الكلية لكل الكترون تساوي مجموع طاقته الكامنة وطاقته الحركية لاي ذرة يجب ان تكون طاقات الالكترونات واحدة من الطاقات المسموحة المحددة والتي تختلف من عنصر لآخر. هذا بالإضافة الى ان عدد الالكترونات التي يمكن ان توجد في أي طاقة مسموحة هو اثنان، كما تحاول طاقة الالكترون الكلية ان تكون اصغر ما يمكن، لذلك فان اقل الطاقات المسموحة التي تعود الى المدارات القريبة من النواة تحاول ان تملأ اولاً، تاركة مستويات الطاقة المسموحة فوق اعلى مستوى مملوء فارغة.

ان الطاقات المسموحة يمكن ان تجمع على شكل قشرات (shells) والتي تسمى اعتباراً من النواة نحو الخارج بالقشرات (N,M,L,K) الخ. هناك مستوى واحد للطاقة في القشرة K واربع مستويات في القشرة L وتسعة في القشرة M وستة عشر في القشرة N. ان اكبر عدد من الالكترونات الذي يمكن ان تحتويه القشرة K هو 2 والقشرة L هو 8 والقشرة M هو 18 والقشرة N هو 32 :
وبيين الجدول 1-13 توزيع الالكترونات لعدد من العناصر.

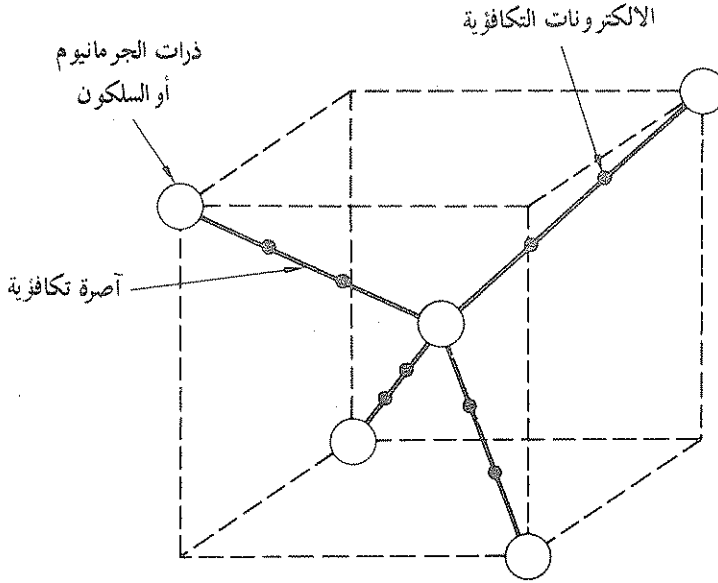
جدول 1-13

العنصر	مجموع الالكترونات	عدد الالكترونات في			
		القشرة K	القشرة L	القشرة M	القشرة N
الهيدروجين	1	1	—	—	—
الهليوم	2	2	—	—	—
الليثيوم	3	2	1	—	—
الكاربون	6	2	4	—	—
الاووكسجين	8	2	6	—	—
الالمنيوم	13	2	8	3	—
السيليكون	14	2	8	4	—
الفوسفور	15	2	8	5	—
النحاس	29	2	8	18	1
الكالسيوم	31	2	8	18	3
الجرمانيوم	32	2	8	18	4
الزرنيخ	33	2	8	18	5

ان الخواص الكيماوية والكهربائية للعنصر تعتمد على الكتروناته ذات الطاقة العالية ، والتي تدعى بالالكترونات التكافؤية . فعلى سبيل المثال للسيليكون والجرمانيوم اللذين يستخدمان بكثرة في الادوات (devices) التي سترد في الفصلين 14 . 15 . فانهما يتصلبان بشكل تركيب بلوري بحيث تكون كل ذرة متساوية المسافة عن جاراتها الأربعة وتشارك معها في الالكترونات الأربعة الخارجية لها . لذلك يقال ان هناك اواصر تكافؤية متكونة بين هذه الذرات . ويبين الشكل 1-13 وضعية الذرات للسيليكون والجرمانيوم .

2-13 الموصلات والعوازل وانصاف الموصلات

لقد كونت صورة التركيب الذري في الفقرة السابقة على أساس فرضية ان الدارة معزولة تماماً وهذه الفرضية تكون صحيحة في حالة الغازات نظراً لوجود غازاتها بعيدة نسبياً عن بعضها . أما للاجسام الصلبة فتكون قريبة من بعضها وبذلك تتأثر مستويات الطاقة بتواجد الذرات الأخرى . ان التأثير العام لذلك هو بتوسيع مناسب الطاقة العليا الى شرائط (bands) تحتوي على عدد كبير من مستويات الطاقة القريبة من بعضها . وتكون هذه المستويات من الناحية العملية قريبة لحد انه من الاعتيادي اعتبارها مدى مستمراً

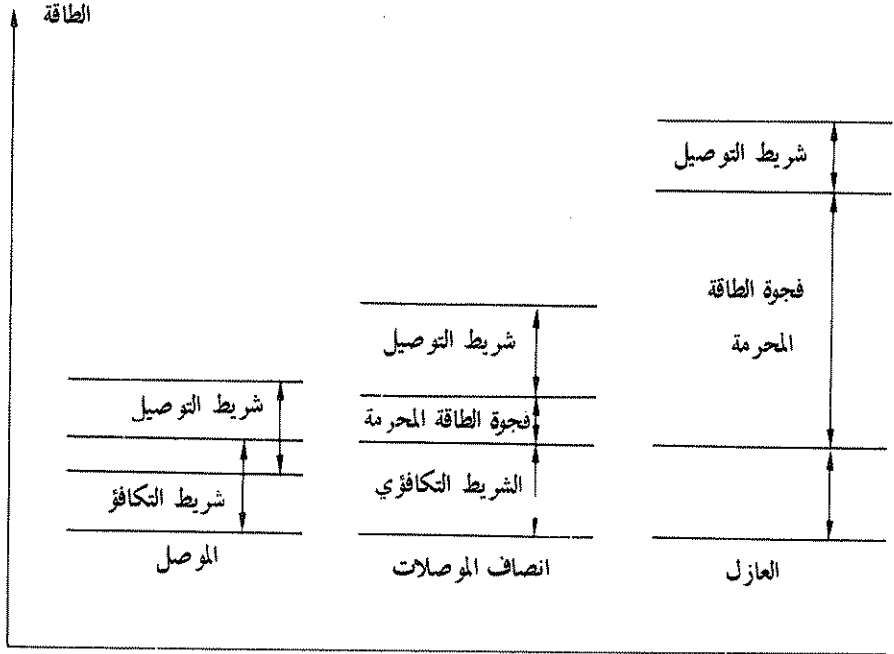


شكل 1-13 الوضعية الذرية للجرمانيوم والسليكون

من الطاقات المتوفرة ضمن الشريط . توجد الالكترونات التكافؤية ضمن الشريط التكافؤي . وفوق ذلك يوجد شريط طاقة اخري يدعى بشريط التوصيل الذي يكون فارغاً . ان كلاً من هذين الشريطين يكون مشتركا مع كافة الذرات بدلاً من الذرات المنفصلة عن بعضها . وهذا يتيح امكانية حركة الالكترونات خلال المواد الصلبة . اما ضمن شريط التكافؤ او شريط التوصيل ، ومن ثم يكون هناك سريان في التيار . ان المقاومة التي تظهرها المادة ضد سريان التيار تعتمد على مقدار فجوة الطاقة المرفوضة بين شريطي التكافؤ والتوصيل .

ان مدى الطاقات المشترك بين شريطي التكافؤ والتوصيل في المعادن يكون متداخلاً (اي لا يوجد هناك فجوة طاقة بينهما) . ان احدى تأثيرات ذلك هي ان الالكترونات التكافؤية تكون طليقة في حركتها خلال المادة ، لذلك تحاول المعادن (كالفضة والنحاس والالمنيوم) ان تكون موصلات جيدة . يظهر لاول وهلة ان عنصري السيليكون والجرمانيوم يجب ان يكونا عازلين نظراً لان الكترولوناتهما اما ان تكون قريبة من النواة او ان تكون في شريط التكافؤ الذي يكون مملوءاً تماماً . وفي كلا الحالتين لا يمكنهما ان يتحركا بحرية خلال البلورة كما هي الحال عند سريان التيار . اما اذا رفعت الالكترونات الى شريط التوصيل فانها تصبح طليقة الحركة خلال البلورة . ولغرض وصول الالكترونات الى شريط التوصيل من الضروري تجهيز طاقة (مثلاً حرارة) الى البلورة . وبهذه الطريقة تستقبل الالكترونات التكافؤية طاقة كافية لعبور مدى الطاقات المحركة ، وحتى في درجة حرارة الغرفة فهناك طاقة كافية بشكل حرارة لبعض

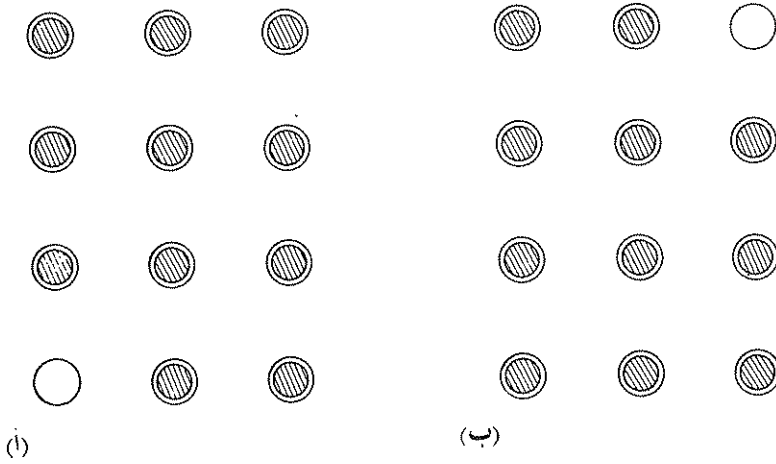
الكترونات التكافؤ للجرمانيوم والسليكون لكي تعبر الى شريط التوصيل . لذلك فان هذه المواد تكون موصلة لحد ما . ان مقاومتها تكون بحيث انها تقع ضمن مجموعة المواد المعروفة بانصاف الموصلات والتي تعني انها ليست موصلات جيدة ولا عوازل جيدة .
 اما للعوازل فان فجوة الطاقة المحررة تكون كبيرة ويكون هناك في درجات الحرارة الاعتيادية عدد قليل من الالكترونات المحتوية على طاقة كافية للعبور الى شريط التوصيل . يبين الشكل 2-13 وضعية تخطيطية لشرائط التوصيل والتكافؤ للموصلات وانصاف الموصلات والعوازل .



شكل 2-13 أشرطة التوصيل والتكافؤ

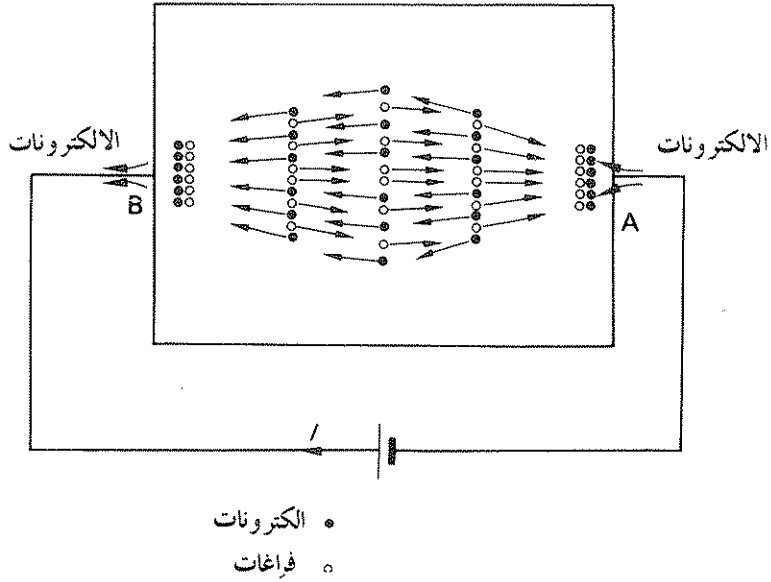
3-13 التوصيل في المعادن وانصاف الموصلات

يحمل التيار بواسطة الالكترونات المتحركة في شريطي التكافؤ والتوصيل . ونظراً لأن الطاقات المشتركة بين الشريطين للمعادن تكون بنفس الترتيب فليس هناك حاجة للتمييز بينهما عند افتراض حركة الالكترونات . فعند تسليط فرق جهد عبر الموصل تكون صورة سريان التيار عبارة عن انسياب الكترونات التكافؤ نحو النهاية التي تحتوي على طاقة موجبة أكبر ، أما اتجاه التيار التقليدي فيكون بعكس ذلك .



شكل 3-13 حركة الفراغات

أما لانصاف الموصلات فمن الضروري التفريق بين حركة الالكترن ضمن شريط التكافؤ وشريط التوصيل . فعندما تتحرك الالكترونات من شريط التكافؤ فانها تترك شاغراً أو فراغاً (Hole) في الآصرة التكافؤية . وهذه يمكن ان تملأ بحركة الكترن راجعاً من شريط التوصيل او من الكترن من آصرة تكافؤية اخرى . واذا حدث الاحتمال الأخير فان فراغاً جديداً سيتكون في آصرة تكافؤية اخرى وهذه العملية موضحة تخطيطياً في الشكل 3-13 أ . والتي يمثل فيها الفراغ في الزاوية اليسرى السفلى من الترتيب . فبعد فترة من الزمن يتحول الوضع كما في شكل 3-13 ب والذي يظهر فيه الفراغ في الزاوية العليا اليمنى ، وفي الفترة بين هاتين الوضعيتين يتوقع ان يكون قد حدث هناك عدد كبير من حركات الالكترونات ، وعلى أي حال فان التأثير الصافي يكون بحركة الفراغ من الوضع أ الى الوضع ب . وكتنتيجة لذلك فربما من المناسب أكثر وصف حركة الشحنة داخل الشريط التكافؤي بحركة الفراغات . وهذه يجب ان تقترض على انها تحتوي على شحنة مساوية بالقيمة لتلك الموجودة في الالكترن ولكن بعكس الاشارة (أي انها موجبة) . فعند تسليط فرق جهد عبر انصاف الموصلات تكون الالكترونات في الشريط الموصل (أي الالكترونات الطليقة) منساقه نحو النهاية التي تحتوي على اعلى جهد موجب . بينما تنساق الفراغات في الشريط التكافؤي بعكس الاتجاه . ويكون التيار الكلي هو مجموع التيارين الناتجين من حركة الالكترونات والفراغات كما مبين في الشكل 4-13 لاحظ انه سيكون هنالك اعادة التحسام (recombination) بين الالكترونات من نهايات التوصيل والفراغات في نصف الموصل القريب من التوصيل المبين في A . وفي نقطة الربط B تزاح الالكترونات من نصف الموصل الى النهاية الموصلة . وتكون سرعة دخول الالكترونات الى نصف الموصل في A مساوية للسرعة التي بها تغادر النقطة B وهذا يكون التيار من البطارية .



شكل 4.13 التوصيل في انصاف الموصلات

4.13 انصاف الموصلات نوع س ونوع م

في الفقرة 3-13 وصفنا عملية التوصيل في انصاف الموصلات مطبقة على مادة نقية (أي أنها أصيلة Intrinsic) . حيث أن عدد حاملات التيار المتوفرة ، أما كالاتكتروونات أو كفراغات يمكن ان يعدل باضافة كمية قليلة من مواد معينة اخرى .

ان معادن كالفسفور والزرنيخ والمبينة في شكل 1-13 ، تظهر بانها تحتوي على خمسة الكترولونات في القشرة الخارجية ، فحينما تضاف هذه العناصر الى الجرمانيوم او النحاس النقيين اثناء عملية تكوين البلورات فان ذراتهما تتكون بنفس طريقة ذرات الجرمانيوم والسيليكون حيث تتكون اواصر تكافؤية بينها وبين ذرات نصف الموصل المجاور . الا انه يبقى هنالك الكترولونات خمس يكون غير مطلوب في الاواصر التكافؤية ولذلك فهو يحاول البقاء مشتركاً مع ذرة الشائب المضاف . ان مستوى الطاقة لهذا الالكترولون يكون أقل بقليل من المستوى السفلي لشريط التوصيل ، لذلك ففي درجات الحرارة الاعتيادية تكون الغالبية العظمى من هذه الالكترولونات في شريط التوصيل . ان امتداد التغير في عدد الحاملات بين فيما يلي :

للجرمانيوم النقي في درجة حرارة 300° كلفن يكون عدد الذرات في المتر المكعب يساوي 4.4×10^{28}

عدد الالكترولونات الطليقة يساوي عدد الفراغات ويساوي 2.4×10^{19} لكل متر مكعب .

إذا طعم (doped) هذا الجرمانيوم بالزرنينخ بنسبة ذرة واحدة لكل 10^6 ذرة من الجرمانيوم فان :
عدد ذرات الزرنينخ تساوي $\frac{4.4 \times 10^{28}}{10^6} = 4.4 \times 10^{22}$ لكل متر مكعب .

إذا اطلقت كل من هذه الذرات إلكتروناتها الزائدة إلى شريط التوصيل فان عدد الإلكترونات الطليقة سيكون الآن $4.4 \times 10^{22} + 2.4 \times 10^{19}$ ويساوي 4.4×10^{22} (أي ان العدد الناتج من الجرمانيوم النقي يكون مهملاً)

ان عدد الفراغات سيقبل كثيراً نظراً لأن امكانية إعادة الالتحام مع الإلكترونات العائدة من شريط التوصيل إلى شريط التكافؤ سيكون أكبر بكثير بسبب الزيادة الكبيرة في عدد هذه الإلكترونات . ان التيار سيكون محمولاً بصورة كاملة تقريباً من قبل الإلكترونات الطليقة في هذه المواد . لذلك يشار إليها بالحاملات الغالبية (majority carriers) وللفراغات بالحاملات الأقلية (minority carriers) وتعرف المادة عندئذ بنصف الموصل من النوع س نظراً لأن الشحنة السالبة تكون على الحاملات الغالبية والشوائب المضافة تكون شوائب معطية نظراً لاعطائها الإلكترونات إلى الشريط الموصل . للمثال المبين اعلاه يمكن تبيان ان مقاومة نصف الموصل من النوع س اقل من واحد من الألف من مقاومة الجرمانيوم النقي . وان تأثيراً مشابهاً يمكن الحصول عليه عند اضافة عناصر كالالمنيوم والكالسيوم للسيليكون والجرمانيوم . وهذه العناصر تحتوي على ثلاثة إلكترونات في قشرتها الخارجية مكونة بلورة نصف موصلة والتي عند تشكيلها تبقى إحدى الأواصر التكافؤية بينها وبين ذرة نصف الموصل المجاور غير كاملة . هناك حاجة إلى طاقة قليلة جداً للإلكترونات التكافؤية لكي تملأ هذا الشاغر وكتيجة لذلك ففي درجة حرارة الغرفة الاعتيادية تكون كل ذرة مضافة مستجة لفراغ في الشريط التكافؤي . ان عدد الإلكترونات الطليقة سيقبل كثيراً نتيجة الزيادة الكبيرة جداً في عدد الفراغات .

في هذا النوع من المواد يحمل التيار بصورة كلية تقريباً بواسطة الفراغات . لذلك تصبح هذه هي الحاملات الرئيسية وتكون الإلكترونات هي الحاملات الثانوية . وتعرف مثل هذه المعادن بنصف الموصل نوع م . نظراً لأن الشحنة الموجبة هي الفعالة في حاملاتها الرئيسية وتكون الشوائب المضافة شوائب قابلة (Acceptor impurity) . نظراً لأنها تقبل الإلكترونات من الأصرة التكافؤية .

تعرف انصاف الموصلات نوع س ونوع م بانصاف الموصلات الدخيلة (Extrinsic) . وسنمر على الأدوات نصف الموصلة في الفصولين 14 و 15 باستخدام هذين النوعين . وتكون درجة النقاوة المضافة عملياً حوالي $\frac{1}{10^5}$

5-13 تأثير الحرارة والضوء والانفعال (strain) على المقاومة

إذا كان التركيب الذري للمادة مثاليًا . فان حاملات التيار يمكنها ان تتحرك خلال المادة بشكل طليق تماماً . لذلك تكون المواد موصلات مثالية . أما من الناحية العملية فان اصطدامات تحدث بين الحاملات والذرات والتي تحدد مواقعها بشكل مقيد مما تسبب تبادلاً في الطاقة بين الحاملات والذرات . ومن ثم تنتج مقاومة لسريان التيار .

فمثلاً في درجات الحرارة فوق الصفر بمقياس كلفن تهتز الذرات حول موقعها المتوسط. ويزداد هذا الاهتزاز مع زيادة درجة الحرارة مما يزيد من احتمال التصادم . لذلك تزداد مقاومات المعادن مع زيادة درجة الحرارة ويحدث نفس التأثير مع انصاف الموصلات والعوازل . ولكن بنفس الوقت يزداد عدد الحاملات نتيجة تجهيز طاقة اخرى وهذا التأثير الأخير يسود ومن ثم تنقص مقاومتها مع زيادة درجة الحرارة . أما في حالة المعادن فإنه لا يحدث زيادة اخرى في عدد الحاملات كما بينا في الفقرة 2-13 حيث ان كافة الالكترونات التكافؤية سبق وان كانت طليقة في الحركة خلال المادة . لذلك فان تأثير درجة الحرارة على أنصاف الموصلات يكون أكثر وضوحاً في المعادن أنصاف الموصلة الاصلية ، بينما يعتمد عدد الحاملات المتوفرة تماماً على الطاقة المتيسرة لرفع الالكترونات من شريط التكافؤ الى شريط التوصيل .

يمكن للاشعاع الكهرومغناطيسي (كالضوء المرئي) ان يجهد طاقة بنفس الطريقة تماماً كالحرارة لرفع الالكترونات الى شريط التوصيل . لذلك فان مقاومة انصاف الموصلات تنقص عند امتصاص هذا الاشعاع . ويمكن استخدام انصاف الموصلات . ككشافات (Detectors) للاشعاع الكهرومغناطيسي . وكما هي الحالة في الحرارة يكون التأثير أكثر وضوحاً في انصاف الموصلات الاصلية . ويتبريد نصف الموصل الى درجة حرارية واطئة جداً يمكن ان تنقص الحاملات الناتجة حرارياً بدرجة شديدة منتجة مقاومة عالية جداً للاشعاع الكهرومغناطيسي . اما تأثير الاجهاد (stress) الميكانيكي على المعادن فيكون بتغيير الابعاد الفيزيائية (ويقال ان المادة قد انفعلت) . لذلك فان مقاومتها تتغير كما وصفنا في الفقرة 5-2 . اضافة لذلك يكون هناك تغيير في مقاومتها نتيجة اعادة توجيه (reorientation) الذرات منتجة تغييراً في سرعة الاصطدام مع الحاملات . وتستخدم هذه الظواهر في بعض انواع مقاييس الانفعال (strain gauges) المستعملة لقياس التغييرات الصغيرة في ابعاد المواد التي ترتبط بها . وقد حصلت تغييرات مؤخرأ في مقاييس الانفعال حيث ادخل فيها استخدام انصاف الموصلات كثيراً . مما انتج زيادة في حساسيتها بالمقارنة مع اسلاك المعادن الشائعة .

6-13 الاشعاع الذري

ان الظروف في الذرة التي توجد فيها الكترونات ذات طاقات اعلى من الحد الأدنى المسموح تكون ظروف غير مستقرة . حيث ان الالكترونات بعد فترة وجيزة من الزمن تهبط عائدة الى مستويات الطاقة المسموحة الواطئة . وان الطاقة المفقودة من قبل الالكترتون ستشع من الذرة بشكل اشعاع كهرومغناطيسي . ان تردد هذا الاشعاع مرتبط مع الفرق في الطاقة بين مستويين كما مبين في المعادلة

$$\Delta W = hf \quad (13-1)$$

حيث ΔW تساوي فرق الطاقة بالجولات و h هو ثابت يساوي 6.624×10^{-34} جول ثانية . ان هذا التأثير ممكن ملاحظته في ادوات كثيرة والتي يحدث فيها التوصيل في غاز ما تحت ضغط منخفض . تجهز الطاقة الى ذرات الغاز بصورة رئيسية بواسطة الاصطدام بين الالكترونات المتحركة بسرعة والتي

تفقد جزءاً من طاقتها الحركية أثناء هذه العملية . ترفع الالكترونات ذرة الغاز الى مستويات اعلى من مستويات الطاقة . وحينما تهبط راجعة الى مستويات اوطأ فان الغاز يبعث ضوءاً . ويكون الفرق بين مستويي الطاقة بحيث يقع الانبعاث (emission) ضمن الطيف المنظور (visible spectrum) إن الغاز المعين المستخدم ينتج مميزات لونية بلون الضوء المنبعث . فمثلاً يبعث الهيدروجين ضوءاً في حدود اللون في منطقة الالوان البرتقالي والازرق والبنفسجي ضمن الطيف المرئي . بينما يبعث بخار الزئبق الضوء في منطقة الاصفر والاخضر والازرق اضافة الى فوق البنفسجي . اما الاشعاع من بخار الصوديوم فيقع ضمن شريط ضيق جداً في منطقة الاصفر .

ان الفرق في المستويات بالقرب من الجزئية يكون من الناحية العملية اكبر بكثير من الفرق بين المستويات الخارجية . حينما تطلق الكترونات ذات طاقة حركية عالية نحو صفيحة معدنية فان بعضاً من الالكترونات ذات الطاقة الواطئة يمكن ازالها نهائياً من الذرة . وعندما تهبط الكترونات أخرى لكي تأخذ محلها فان فروع الطاقة العالية المتضمنة تنتج اشعاعاً ذا ترددات خارج الطيف المرئي . وتعرف هذه الموجات باشعة X والتي لها خاصية اختراق المواد المعتمة للضوء المرئي . وتستخدم اشعة X في الصناعة لاختبار الصدع الداخلي للمواد وكذلك في الطب .

مسائل على الفيزياء الالكترونية .

1. ربط ملفان على التوازي وكانت مقاومتهما 600 اوم و 300 اوم معاملي درجة الحرارة هما 0.001 لكل كلفن و 0.004 لكل كلفن على الترتيب في درجة حرارة 20° م . اوجد مقاومة المجموعة في درجة حرارة 50° م . ماهو معامل الحرارة الفعال للمجموعة ؟

217.5Ω, 0.00292/K

2. تحوى ملفات المجال محرك متوازي مقاومة تساوي 98 اوم في درجة 16° م . وجد فيما بعد ان المقاومة في الوضع المستقر تساوي 114 اوم . اوجد الارتفاع في درجة حرارة اللفائف اذا كان معامل درجة الحرارة للنحاس يساوي 0.004 لكل كلفن .

43.7 K

3. فتيلة مصباح ذي 60 واط و 230 فولت يعمل في درجة حرارة الاشتعال الاعتيادية قيمتها 2000 م . على فرض ان معامل درجة الحرارة للمادة يساوي 0.005 لكل كلفن . اوجد التيار التقريبي الذي يسري في لحظة ربط المصدر الى مصباح بارد .

2.87A

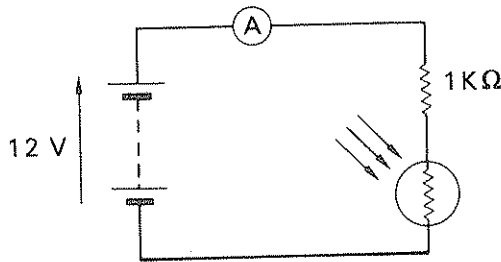
4. عرف معامل درجة الحرارة للمقاومة .

لفائف مجال لمحرك تيار مستمر ، قيمة درجة الحرارة المتوسطة لها قبل تزويد المحرك بالطاقة تساوي 15م وعند ربط المجال الى مصدر للتيار المستمر ذي 240 فولت كان التيار الابتدائي المستقر يساوي 2.5 أمبير . ولكن بعد برهة من التشغيل انخفض تيار المجال الى 2.3 أمبير فاذا كانت اللفائف مصنوعة من النحاس وكان معامل درجة الحرارة المقاومة يساوي 0.004 لكل كلفن . احسب القيمة النهائية لتوسط درجة حرارة اللفائف .

65°C (SANCAD)

5. دائرة حساسة للضوء كالمبينة في شكل 5-13 فاذا كانت مقاومة الاداة الضوئية الكهربائية (photoelectric device) تتناسب عكسياً مع الاضاءة الساقطة عليها . في اضاءة معينة كانت قراءة الاميتر 1 ملي امبير . ما قيمة قراءة الامبير حينما تزداد الاضاءة الى الضعف ؟

1.84 mA



شكل 5.13

6. ناقش العوامل التي تؤثر على مقاومة موصل معدني . وضح تأثير الانفعال على مقاومة الموصل . عند انفعال النحاس كانت الاستطالة لكل وحدة طول في اتجاه تسليط القوة تساوي 6×10^{-9} نيوتن بينما كان الانكماش لوحدة الطول في اتجاه يصنع زاوية قائمة مع القوة المسلطة يساوي 1.8×10^{-9} نيوتن . احسب لتلات مراتب مقاومة موصل النحاس عند شده بواسطة قوة تساوي 160 كيلونيوتن ، اذا كانت مقاومته عند عدم الانفعال تساوي 0.124 اوم . افرض ان مقاومة النحاس تبقى دون تغيير .

(SANCAD)

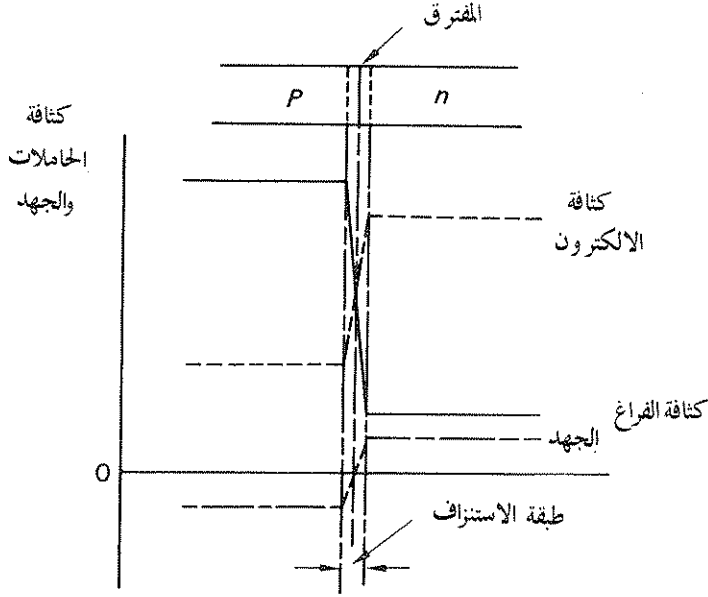
الفصل الرابع عشر

التقويم

ان أبسط تطبيق للمواد نصف الموصلة هو الصمامات الثنائية (Diodes) وشبكتها . ونظراً لان شبكات الصمام الثنائي تسمح بتبديل التيار المتناوب الى تيار مستمر فان دراسة الصمامات الثنائية لها تطبيقات عملية كوسيلة للتقديم الى الادوات الالكترونية البسيطة . وتدعى عملية التبديل هذه بالتقويم .

1-14 مفتسق م-س (p-n junction)

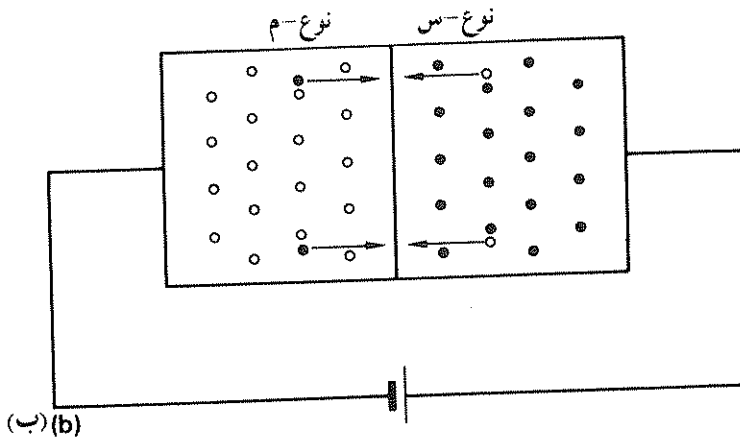
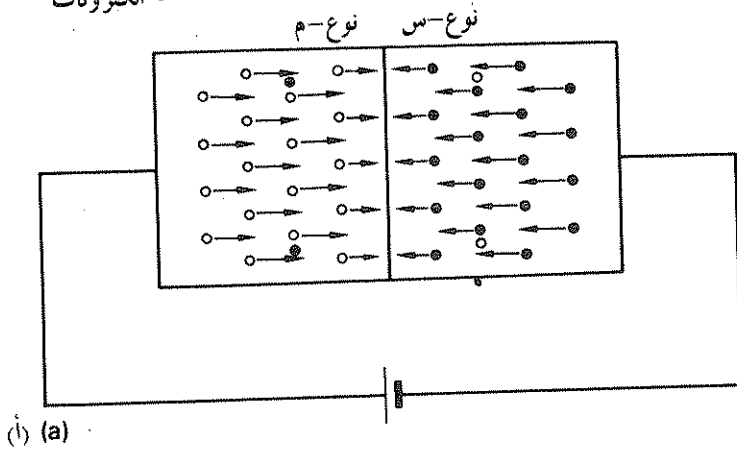
عند تكوين مفتسق بين نوعين من انصاف الموصلات احدهما من نوع س والاخر من نوع م . يكون هناك انتقال للحاملات الغالبية عبر المفتسق فوراً . وهذا يعود الى الظاهرة المعروفة بالانتشار (Diffusion) . وعندها تبدأ الحاملات بتوزيع نفسها بطريقة بحيث تحاول كفافاتها ان تصحح منتظمة خلال المادة . وذلك مناظر لتوزيع جزيئات الغاز في محتوى مقفل لكي تتحج ضغطاً منتظماً ضمن المحتوى . ونظراً لان الجزئين على طرفي المفتسق كانا في البداية متعادلين كهربائياً . لذلك فان انتقال الالكترونات المشحونة بشحنة سالبة من نصف الموصل نوع س الى نوع م وما يصحبه من انتقال الفراغات المشحونة بشحنة موجبة من نصف الموصل نوع م الى نوع س فان فرق جهد ينشأ بين النوعين من انصاف الموصلات نظراً لان الالكترونات ستتحرك من الحيز عالي الجهد الى الحيز واطيء الجهد وبالعكس بالنسبة للفراغات . ان قطبية فرق الجهد تتم بحيث ان النوع س يكون موجباً بالنسبة الى نوع م . ومن ثم فهو يحاول معاكسة الانتشار . واخيراً فان وضعاً سيستقر بحيث يكون فرق الجهد المنشأ كافياً لاييقاف هذا الانتشار ، حيث تتكون حالة من التوازن . كما تتكون طبقة ضيقة حول المفتسق الذي يوجد فيه نقصان في كثافات الحاملات نتيجة اعادة التمام الحاملات ضمن الطبقة . ان المجال الكهربائي المنشأ عبر الطبقة يكون كبيراً في قيمته نتيجة صغر سمك الطبقة . وتدعى هذه الطبقة بطبقة الاستنزاف (Depletion Layer) ويبين الشكل 1-14 الظروف الموجودة ضمن الطبقة وعلى طرفيها .



شكل 1-14 مفترق م-س

لنفرض الان ما يحدث عند تسليط فرق جهد خارجي عبر مفترق م-س الذي وصفناه اخيراً . فاذا كانت قطبية هذه الفولتية بحيث يكون حيز النوع م موجياً بالنسبة للحيز من النوع س ، فان فرق جهد متعاكس ينشا داخليا في المفترق . وهذا يحطم التوازن الذي تم التوصل اليه . ومن ثم تبدأ الحاملات الغالبة بعبور المفترق ثانية . ان مصدر الفولتية المسلطة يقذف الكترولونات داخل الفجوة نوع س ثم يجمعها من الحيز نوع م منتجاً فراغات اخرى . وبذا يتكون تيار . ويقال حينئذ ان المفترق له انحياز امامي (Forward Biasing) اما اذا عكست قطبية الفولتية المسلطة فانها ستساعد فرق الجهد المتكون داخليا لذلك يكون هناك احتمال أقل لانتقال الحاملات الغالبة للمفترق ، الا ان تياراً قليلاً سيمر نتيجة وجود الحاملات الاقلية على كل من طرفي المفترق . وان المجال الكهربائي لطبقة الاستنزاف تساعد في عبور المفترق وهذا التيار يبدأ صغيراً ثم يزداد مع الفولتية المسلطة ولكنه بعد ذلك يصبح غير معتمد عليها بصورة رئيسية وذلك هو تأثير التشبع بينما تعبر الحاملات الاقلية المفترق بالسرعة التي تتولد بها والتي تعتمد بطبيعة الحال على درجة الحرارة . ان زيادة اخرى في الفولتية المسلطة تنتج اخيراً زيادة سريعة في التيار وذلك ناتج من تكوين ازواج الكترولون - فراغ . والتي تتكون بكميات كبيرة ضمن طبقة الاستنزاف . هذا اضافة الى الاتساح السريع للمجال الكهربائي الموجود هناك . ان توضيحاً للميكانيكا المنتجة لازواج الالكترولون - فراغ هو خارج نطاق هذا الكتاب . ويدعى هذا التأثير بانعكاس الانهيار (Reverse Breakdown) . وبالرغم من أنه من ناحية المبدأ غير ضار الا أنه يجب ان نتأكد من عدم تجاوز تقنين القدرة الاقصى للاداة عند تشغيلها في هذا النسق . يقال عن المفترق م-س المسلط عليه الفولتية بالقطبية الموصوفة اعلاه : بأنه متحاز عكسياً (Reverse Biased)

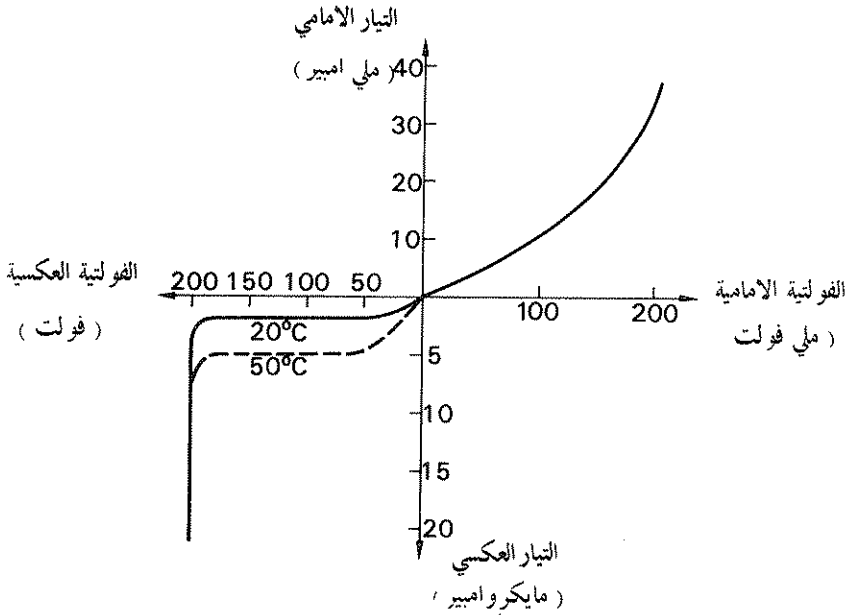
فراغات
الكثرونات



شكل 2-14 التوصيل عبر مفترق م-س
(أ) الانحياز الامامي (ب) الانحياز العكسي

وبين الشكل 2-14 عمليات التوصيل بظروف الانحياز الامامي والعكسي لذلك فان مفترق م-س يحوي خاصية مفيدة في انه يوصل في احد الاتجاهين بشكل افضل من الاتجاه الاخر. اي ان له خواصاً مشابهة للصمام الثنائي الفراغي الحراري (thermionic vacuum diode) والذي حلت محله الدوائر الالكترونية لحد كبير. وقد ابقى استخدام اصطلاح الصمام الثنائي. لذلك تعرف هذه الادوات بالصمامات الثنائية نصف الموصلة. تستخدم عمليات مختلفة صناعياً لانتاج المفترق الذي وصف اعلاه. ولكن يكفي هنا ان نقول انه من غير الممكن انتاج مفترق م-س فعال بتوصيل

نصف موصلين احدهما نوع م والأخر من النوع س ببساطة . ان محتويات الشوائب يمكن السيطرة عليها اثناء الصنع ويتكون المقترق م - س بقطعة واحدة من نصف الموصل .
يبين الشكل 3-14 مميزات نموذجية لصمام ثنائي سيليكوني . وهنا نلقت نظر القارئ الى اختلاف مقياسي الرسم المستخدمين في الخواص الامامية والخلفية .



شكل 3-14 مميزات الصمام الثنائي السلكوني

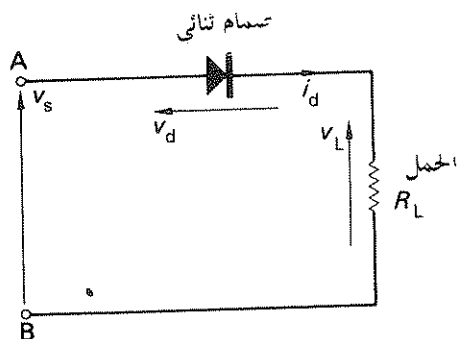
2-14 دوائر المقوم (Rectifier)

نظرا لان للصمام الثنائي خاصية احتوائية على موصلية عالية جداً في احد الاتجاهين بالمقارنة مع الاتجاه الاخر ، فانه ينتج مركبه مباشرة للتيار عند ربطه على التوالي مع فولتيه متناوبة وحمل . وتدعى هذه العملية بعملية التقويم . وتشكل الاستخدام الرئيسي للصمام الثنائي . ان هناك تطبيقات لاحصر لها لعملية التقويم مثلاً تشغيل محرك التيار المستمر من مصدر للتيار المتناوب ونتاج مصادر فولتيه مستمرة من المضخمات الالكترونية (Electronic Amplifiers)

1:2-14 المقوم نصف الموجي (Half - wave) مع حمل مقاومي

يبين الشكل 4-14 دائرة اساسية لمقوم نصف موجي ويبين اتجاه السهم على رمز المقوم اتجاه

التيار التقليدي حينما يكون الصمام الثنائي ذا انحياز امامي فيالرجوع الى الدائرة المبينة في شكل 4-14



شكل 4-14 مقوم نصف موجي مع حمل مقاومي

فولتية المصدر الاينية = v_s
 الفولتية الاينية عبر الصمام الثنائي = v_d
 الفولتية الاينية عبر حمل المقاومة = v_L
 تيار الصمام الثنائي الأني = i_d
 باستخدام قانون كرشوف الثاني في الدارة المغلقة

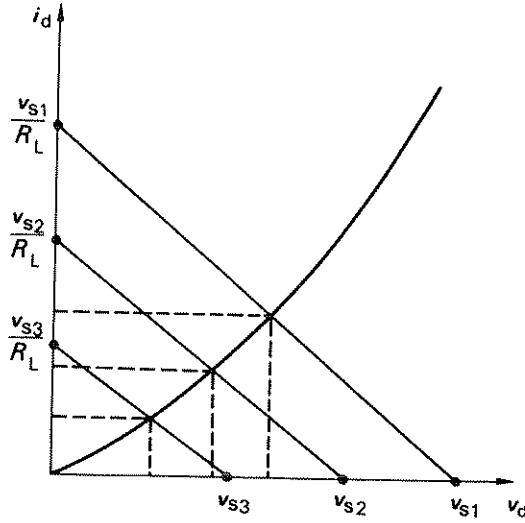
$$v_s = v_d + v_L = v_d + i_d R_L$$

$$\therefore i_d = -\frac{1}{R_L} v_d + \frac{v_s}{R_L} \quad (14.1)$$

لذلك فلقيمة v_s تكون العلاقة بين i_d و v_d كما مبين في العلاقة (14.1) اي علاقة خطية . حينما يكون جهد A موجياً بالنسبة الى B فان الصمام الثنائي سيوصل وتحدد مميزاته الامامية العلاقة بين i_d و v_d .

لذلك فساد نقطة تقاطع الخط المعطى بالعلاقة (14.1) والمميزات الامامية للصمام الثنائي ستحدد تيار وفولتية الصمام الثنائي . ويمكن انشاء الخط بتثبيت نقطتين عليه أي حينما تكون v_d تساوي صفريكون $i_d = v_s/R_L$ وحينما $i_d = 0$ صفرفان v_d تساوي v_s . ويعرف مثل هذا الخط بخط الحمل لقيم محددة لـ v_s و R_L . وبرسم خطوط حمل أخرى يمكن ايجاد تيار الصمام الثنائي لقيم أخرى لـ v_s . ومن ثم يمكن ايجاد شكل الموجة لـ i_d على طول نصف

الموجة وذلك كما مبين في الشكل 5-14



شكل 5-14 انشاء خط الحمل للضمام الثنائي

بالرغم من أن المميزات الامامية للضمام الثنائي غير خطية فإنه يمكن الحصول على دقة كافية في حالات كثيرة باعتبار المقاومة الامامية r_d للضمام الثنائي ثابتة او حتى صفراً .
لذلك اذا كانت فولتية المصدر:

$$v_s = V_m \sin \omega t$$

فان

$$i_d = \frac{v_s}{r_d + R_L} = \frac{V_m \sin \omega t}{r_d + R_L} = I_m \sin \omega t.$$

لذلك اذا كان متوسط قيمة التيار (باهمال التيار العكسي) يساوي I_{dc} يكون :

$$\begin{aligned} I_{dc} &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{2\pi} [-\cos \omega t]_0^{\pi} \\ &= \frac{I_m}{2\pi} [-\cos \pi + \cos 0] = \frac{I_m}{2\pi} [1 + 1] \end{aligned}$$

$$\therefore I_{dc} = \frac{I_m}{\pi}. \quad (14.2)$$

وبصورة مشابهة تكون قيمة ج . م . ت . للتيار تساوي I_{rms} ، ومن ثم

$$\begin{aligned}
 I_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)} \\
 &= \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t) d(\omega t)} \\
 &= \sqrt{\frac{I_m^2}{2\pi} \times \frac{1}{2}[\omega t + \frac{1}{2} \sin 2\omega t]_0^{\pi}} = \sqrt{\frac{I_m^2}{4\pi} [\pi]} \\
 \therefore I_{rms} &= \frac{I_m}{2} \quad (14.3)
 \end{aligned}$$

ان الفولتية عبر الحمل تكون :

$$v_L = i_d R_L = I_m \sin \omega t R_L = V_{Lm} \sin \omega t.$$

لذلك بنفس الطريقة لاشتقاق التيار:

$$\text{تساوي متوسط قيمة فولتية الحمل} \quad \frac{V_{Lm}}{\pi} = V_{dc} \quad 14.4$$

$$\text{يساوي قيمة ج . م . ت . لفولتية الحمل} \quad \frac{V_{Lm}}{2} = V_{rms} \quad 14.5$$

ان الفولتية العظمى التي تحدث عبر الصمام الثنائي في الاتجاه العكسي تعرف بأنها فولتية الذروة العكسية (Peak Inverse Voltage) . وهذه يجب أن تكون أقل من فولتية الانهيار للصمام الثنائي اذا كان المطلوب ان لا يوصل الصمام بشكل محسوس في الاتجاه العاكس .

تحدث فولتية الذروة العكسية للصمام الثنائي في هذه الدائرة حينما يكون جهد B موجبا بالنسبة الى A بأقصى ما يمكن . ان المقاومة العكسية للصمام الثنائي في معظم التطبيقات العملية تكون أكبر بكثير من مقاومة الحمل . وتظهر معظم الفولتية المسالطة عبر الصمام الثنائي لذلك فان فولتية الذروة العكسية تساوي تقريبا القيمة القصوى لفولتية المصدر نظراً لأن إنتاج التيار المستمر من مصدر متناوب هو الهدف من الدائرة لذلك فان قدرة الاخراج المفيدة هي تلك القدرة الناتجة في الحمل بالمركبة المستمرة للتيار ولذلك تعرف كفاءة القوم بأنها :

$$\text{الكفاءة } \eta = \frac{\text{القدرة في الحمل من مركبة التيار المستمر}}{\text{القدرة الكلية المفقودة في الدائرة كاملة}}$$

لذلك

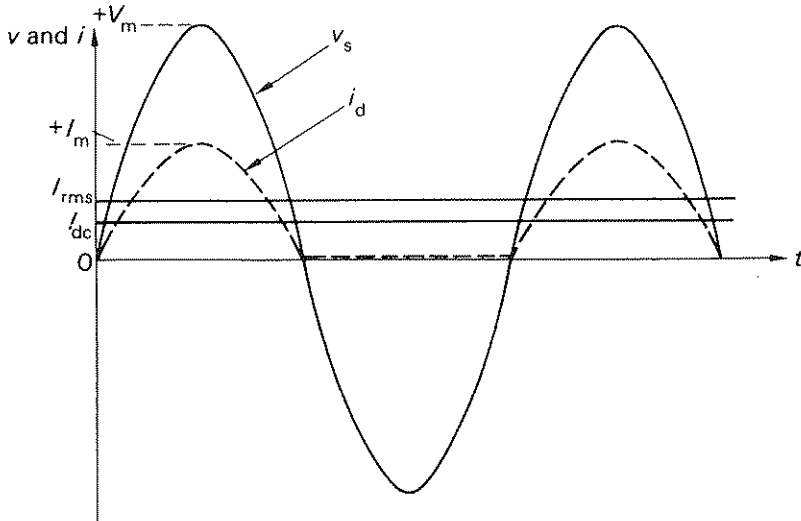
$$\eta = \frac{I_{dc}^2 R_L}{I_{rms}^2 (r_d + R_L)} = \frac{\left(\frac{I_m}{\pi}\right)^2 R_L}{\left(\frac{I_m}{2}\right)^2 (r_d + R_L)}$$

$$\therefore \eta = \frac{4R_L}{\pi^2 (r_d + R_L)} \quad (14.6)$$

إذا كانت $r_d = 0$ = صفر فإن الكفاءة تكون في قيمتها العظمى أي أن

$$\eta_m = \frac{4}{\pi^2} = 0.405 \text{ (i.e. } 40.5\% \text{).}$$

يبين الشكل 6-14 أشكال الموجة لدائرة مقوم نصف موجي .

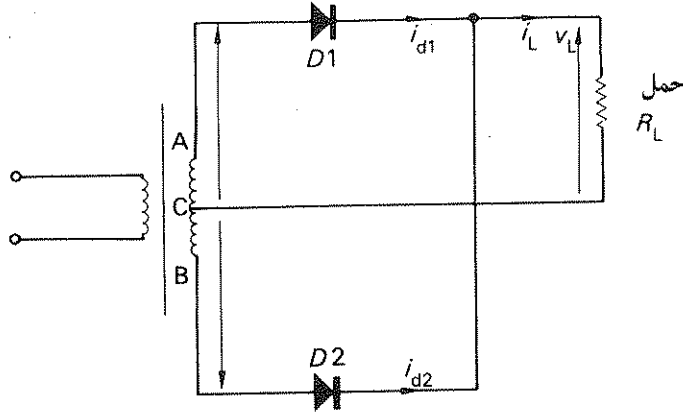


شكل 6-14 أشكال الموجة لدائرة مقوم نصف موجي

2.2.14 شبكة مقوم كامل الموجة (Full-wave) مع حمل مقاومي

لقد انتج المقوم نصف الموجي اخراجاً يكون تياره متحد الاتجاه . الا ان التيار الناتج لا يشابه كثيراً التيار المستمر الذي يتوقعه المرء من بطارية مثلاً . حيث ان المقوم نصف الموجي لا يستخدم نصف الموجة الآخر من شكل موجة المصدر . لذلك هناك فائدة تقنية واقتصادية اذا أمكن تقويم كل من نصفي الموجة باستخدام شبكة مقوم كامل الموجة .

يبين الشكل 7-14 شبكة بسيطة لمقوم كامل الموجة . ان النقطة C هي مركز التفرع على ثانوي المحول . لذلك فان ق . د . ك . المحتثة في كل جزء من جزئي الثانوي تكون متساوية . وحينما يكون جهد A موجياً بالنسبة الى C تكون C موجبة بالنسبة الى B أيضاً . لهذه القطبيات يكون الصمام الثنائي D_1 موصلًا بينما يكون D_2 متوقف التوصيل . وعند انعكاس القطبيات فان الصمام الثنائي D_2 سيوصل بينما يتوقف D_1 . وبهذه الطريقة فان كل صمام ثنائي يوصل نصف دورة على التناوب بحيث يمرر تياراً خلال الحمل في نفس الاتجاه .



شكل 7-14 مقوم كامل الموجة مع حمل مقاومي

$$\text{اذا كانت } v_{AC} = v_s = V_m \sin \omega t$$

$$\text{فان } v_{BC} = -v_s = -V_m \sin \omega t.$$

لصمامين ثنائيين متماثلين حينما تكون المقاومة الامامية r_d والتي يمكن أن تعتبر ثابتة والمقاومة عكسية لا نهائية فانه خلال الفترة التي تكون بها v_s موجبة :

$$I_m \sin \omega t = \frac{V_m \sin \omega t}{r_d + R_L} = i_{d1} \text{ يساوي } 1$$

تيار الصمام الثاني 2 يساوي i_{d2} $Q = i_{d2}$
وفي فترة كون v_s سالبة

تيار الصمام الثاني 1 $O = i_{d1} = 1$

$$-I_m \sin \omega t = \frac{-V_m \sin \omega t}{r_d + R_L} = i_{d2} = 2$$

وفي أي لحظة يكون تيار الحمل $i_L = i_{d1} + i_{d2}$

لذلك ففي هذه الدائرة يعيد التيار نفسه مرتين كل دورة من دورات فولتية المصدر ، لذلك فالقيمة المتوسطة لتيار الحمل $I_{dc} =$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m \sin \omega t d(\omega t) \\ \therefore I_{dc} &= \frac{2I_m}{\pi} \end{aligned} \quad (14.7)$$

قيمة ج . م . ت . لتيار الحمل تساوي I_{rms}

$$\begin{aligned} &= \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} I_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)} \\ \therefore I_{rms} &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} \end{aligned} \quad (14.8)$$

وبشكل مشابه لفولتية الحمل :

$$\frac{2 V_{Lm}}{\sqrt{2}} = V_{dc} = \text{قيمة متوسط فولتية الحمل} \quad 14.9$$

$$\frac{V_{Lm}}{\sqrt{2}} = V_{rms} = \text{قيمة ج . م . ت . لفولتية الحمل} \quad 14.10$$

باهمال المقاومة الامامية للصمام الثاني فان القيمة العظمى لفولتية الحمل تساوي القيمة القصوى لنصف فولتية الثانوي . ففي هذه اللحظة فان احدى نهايتي الصمام الثاني غير الموصل تساوي $V_m +$ بينما تكون نهايته الاخرى $V_m -$ بالنسبة الى مركز التفرع C . وتكون فولتية الذروة العكسية تساوي $2 V_m$. ان كفاءة الدائرة تساوي

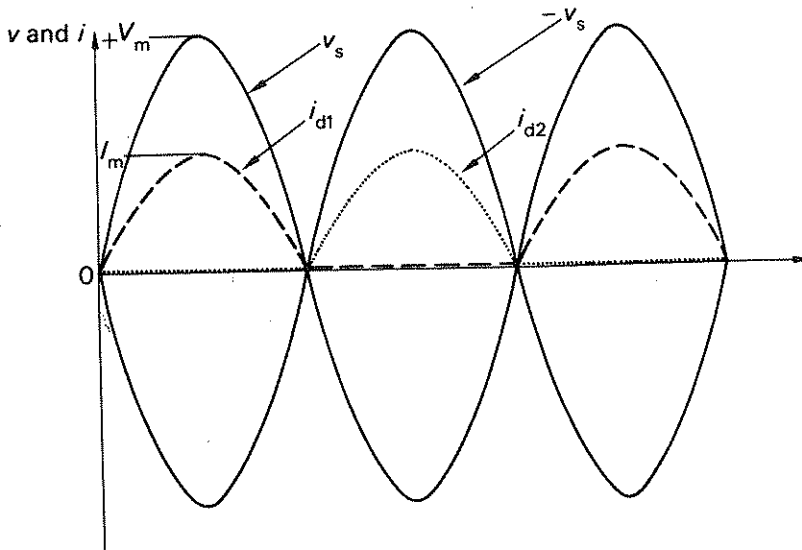
$$\eta = \frac{I_{dc}^2 R_L}{I_{rms}^2 (r_d + R_L)} = \frac{\left(\frac{2I_m}{\pi}\right)^2 R_L}{\left(\frac{I_m}{\sqrt{2}}\right)^2 (r_d + R_L)}$$

$$\therefore \eta = \frac{8R_L}{\pi^2 (r_d + R_L)} \quad (14.11)$$

إذا كانت r_d تساوي صفر فإن الكفاءة تكون في قيمتها العظمى أي أن

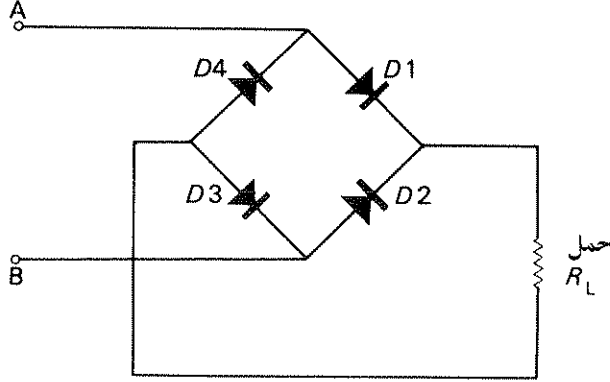
$$\eta_m = \frac{8}{\pi^2} = 0.810 \text{ (i.e. 81.0\%)}$$

يبين الشكل 8-14 أشكال الموجة لشبكة مقوم كامل الموجة .



شكل 8-14 أشكال الموجة لدائرة مقوم كامل الموجة

3.2-14 شبكة مقوم قنطري (Bridge Rectifier) مع حمل مقاومي
 يستعمل مقوم الموجة الكاملة كلاً من نصفي لفائف المحول لنصف الزمن . وبذلك يمكن استخدام
 اللفائف طول الوقت : كما يمكن حذف المحول في حالات خاصة باستخدام شبكة المقوم القنطري .



شكل 9-14 شبكة مقوم قنطري مع حمل مقاومي

حينما يكون جهد A موجياً بالنسبة الى B . فان الصمامين الثنائيين D_1 و D_3 يوصلان ويسري التيار في الحمل . وحينما يكون جهد B موجياً بالنسبة الى A فان الصمامين الثنائيين D_2 و D_4 يوصلان ويكون التيار في الحمل بنفس الاتجاه كما سبق . لذلك فقد أمكن الحصول على اخراج من النوع كامل الموجة وان المقادير المشتقة للتيار لحمل الفولتية لدائرة كاملة الموجة تنطبق هنا أيضاً . ومما يجب ملاحظته انه في أي لحظة يكون كل من الصمامين الثنائيين موصلاً بحيث تكون المقاومة في الدائرة تساوي

$$2r_d + R_L$$

ان كفاءة الدائرة تساوي

$$\eta = \frac{I_{dc}^2 R_L}{I_{rms}^2 (2r_d + R_L)} = \frac{\left(\frac{2I_m}{\pi}\right)^2 R_L}{\left(\frac{I_m}{\sqrt{2}}\right)^2 (2r_d + R_L)}$$

$$\therefore \eta = \frac{8R_L}{\pi^2(2r_d + R_L)} \quad (14.12)$$

وبإهمال المقاومات الامامية للصمامات الثنائية ، فان الفولتية التي تظهر عبر الصمامات غير الموصلة تساوي فولتية المصدر ، لذلك فان فولتية الدرورة العكسية تساوي القيمة العظمى لفولتية المصدر .

هناك بعض الفوائد التي يمكن الحصول عليها باستخدام دائرة قنطرة عند مقارنتها مع دائرة الموجة الكاملة ذات التفرع المركزي للثانوي . فلمتوسط فولتية حمل معينة تستعمل دائرة القنطرة نصف عدد لفات الثانوي فقط . ولصمام ثنائي معين ذي أعظم تقنين لفولتية الذروة العكسية يمكن الحصول على ضعف متوسط فولتية الاخراج منه نظراً لأن فولتية الذروة العكسية التي تصادف هي V_m بالمقارنة مع $2V_m$ لدائرة الموجة الكاملة .

مثال (10-14) تحوي الصمامات الثنائية الاربعة لدائرة مقوم قنطري على مقاومات أمامية بالامكان اعتبارها ثابتة بقيمة أوم واحد ومقاومة عكسية لا نهائية . فاذا كانت فولتية المصدر المتناوب تساوي 240 فولت ج . م . ت . والحمل المقاومي يساوي 480 أوم احسب :

أ- متوسط تيار الحمل .
 ب- كفاءة المقوم
 ج- القدرة المفقودة في كل صمام ثنائي

$$I_m = \frac{\sqrt{2} \times 240}{2 \times 1.0 + 48.0} = 6.79 \text{ A} \quad \text{أ-}$$

$$I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi} = \frac{2 \times 6.79}{\pi} = 4.32 \text{ A}$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{6.79}{\sqrt{2}} = 4.80 \text{ A} \quad \text{ب-}$$

$$\therefore \eta = \frac{4.32^2 \times 48}{4.80^2 \times 50} = 0.779 \text{ (i.e. 77.9\%)}$$

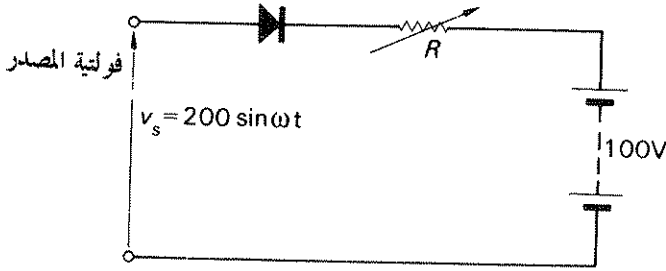
ج- نظراً لأن كل صمام ثنائي يوصل فقط لنصف الدورة لذلك تكون قيمة ج . م . ت . لتيار الصمام الثنائي

$$= \frac{I_m}{2} = \frac{6.79}{2} = 3.39 \text{ A.}$$

لذلك تساوي القدرة المفقودة في كل صمام ثنائي

$$= 3.39^2 \times 1.0 = 11.5 \text{ W.}$$

مثال (10-14) دائرة شحن بطارية كالمبينة في شكل 10-14 . يمكن اعتبار المقاومة الامامية للصمام الثنائي على أنها مقدار ثابت قيمته 2 أوم والمقارنة العكسية لا نهائية احسب القيمة اللازمة لمقاومة متغيرة R بحيث يكون تيار شحن البطارية يساوي أمبير واحد اذا كانت المقاومة الداخلية للبطارية مهملة .



شكل 10-14 دائرة المثال 2-14

يوصل الصمام التناهي خلال الفترة حينما تكون v_s أكبر من 100 فولت .

$$200 \sin \omega t = 100 \text{ i.e. } \sin \omega t = 0.5$$

اي حينما تكون ωt تساوي $\frac{\pi}{6}$ و $\frac{5\pi}{6}$ لذلك فان الصمام التناهي يوصل حينما وخلال التوصيل

$$i = \frac{v_s - 100}{r_d + R} = \frac{200 \sin \omega t - 100}{2.0 + R}$$

$$= 1.0 = \frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} \frac{200 \sin \omega t - 100}{2.0 + R} d(\omega t) \quad = \text{يكون متوسط التيار}$$

$$= \frac{1}{2\pi(2.0 + R)} [-200 \cos \omega t - 100 \omega t]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}}$$

$$= \frac{1}{2\pi(2.0 + R)} \left[-200 \cos \frac{5\pi}{6} - 100 \times \frac{5\pi}{6} + 200 \cos \frac{\pi}{6} + 100 \times \frac{\pi}{6} \right]$$

$$= \frac{1}{2\pi(2.0 + R)} \left[-200 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \right) - \frac{500\pi}{6} + 200 \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right) + \frac{100\pi}{6} \right]$$

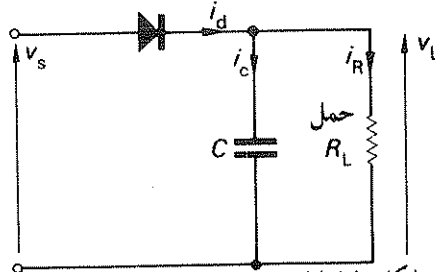
$$= \frac{1}{2\pi(2.0 + R)} \left[200\sqrt{3} - \frac{400\pi}{6} \right]$$

$$2.0 + R = \frac{200\sqrt{3}}{2\pi} - \frac{400\pi}{2\pi \times 6}$$

$$\therefore R = 55.1 - 33.3 - 2.0 = \underline{19.8 \Omega}$$

3-14 التسيوية Smoothing

ان دوائر التقويم التي وصفت اعلاه تنتج مركبة مستمرة للتيار في الحمل كما هو المطلوب ولكن هناك مركبة متناوبة كبيرة ايضا . ويستحسن في كثير من التطبيقات جعل المركبة الاخيرة اصغرا ما يمكن . ويتحقق ذلك باستعمال دائرة تسيوية . ان ابسط دائرة تسيوية تحتوي على متسعة على التوازي مع الحمل حيث يبين الشكل 11-14 مثل هذه الوضعية .



شكل 11-14 مقوم نصف موجي مع مرشح ذي متسعة ادخال

يوصل الصمام الثنائي حينما تكون فولتية المصدر v_s موجبة اكثر من فولتية الحمل v_L . وخلال فترة التوصيل هذه اذا كانت المقاومة الامامية للصمام الثنائي مهملة فان فولتية الحمل تساوي فولتية المصدر . لذلك اذا كانت :

$$v_s = V_m \sin \omega t$$

$$i_R = \frac{v_s}{R_L} = \frac{V_m \sin \omega t}{R_L}$$

$$i_c = C \frac{dv_s}{dt} = C \omega V_m \cos \omega t.$$

$$\text{فان تيار الصمام الثنائي يساوي } i_d = i_R + i_c = \frac{V_m}{R_L} \sin \omega t + \omega C V_m \cos \omega t$$

$$= \sqrt{\left(\frac{V_m}{R_L}\right)^2 + (\omega C V_m)^2} \sin(\omega t + \Phi)$$

$$\therefore i_d = \frac{V_m}{R_L} \sqrt{1 + \omega^2 C^2 R_L^2} \sin(\omega t + \Phi) \quad (14.13)$$

$$\text{حيث } \tan \Phi = \frac{\omega C V_m}{\frac{V_m}{R_L}} = \omega C R_L$$

إذا كان i_d يساوي صفراً . أي ان الصمام الثنائي يقطع (cut off) حينما $t_2 = t$ فان

$$\sin(\omega t_2 + \Phi) = 0$$

$$\therefore \omega t_2 + \Phi = \pi$$

$$\therefore \omega t_2 = \pi - \Phi$$

(14.14)

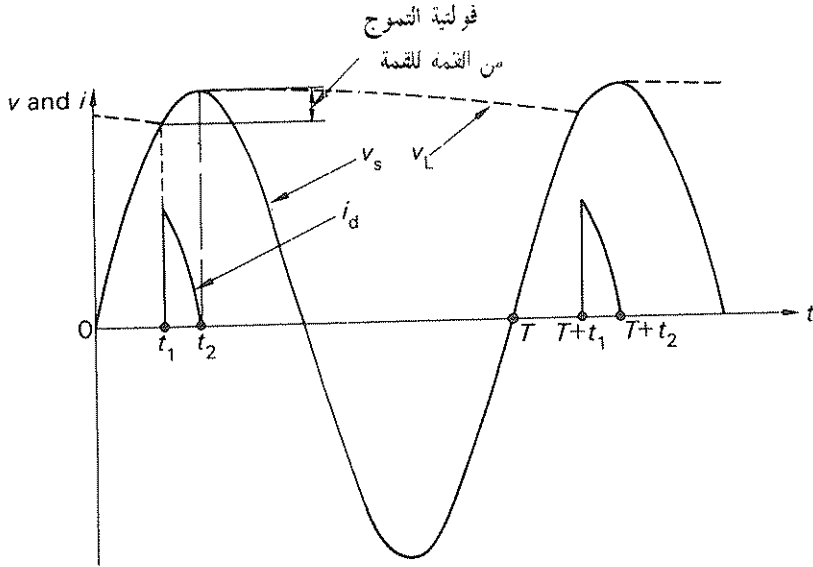
$$\text{فان } \Phi \doteq \frac{\pi}{2} \text{ اذا كان } \omega CR_L \gg 1$$

$$\text{وكذلك } \omega t_2 \doteq \pi - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{2}$$

أي ان توصيل الصمام الثنائي يتوقف بالقرب من اللحظة التي يكون بها v_s عند قيمته المرجبة العظمى .
حينما يكون الصمام الثنائي في وضع عدم التوصيل فان المتسعة يفرغ خلال R_L وتساوي فولتية الحمل

$$v_L = V e^{-\frac{(t-t_2)}{CR_L}}$$

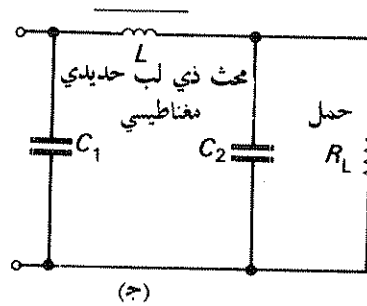
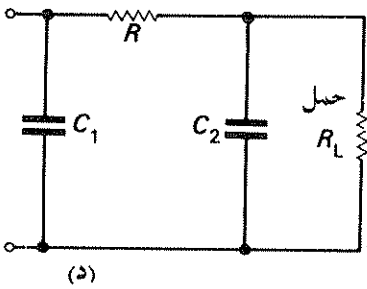
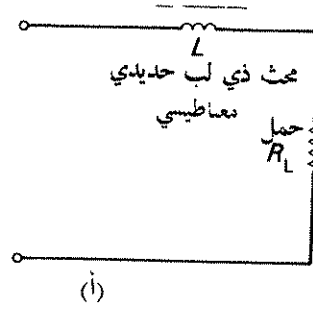
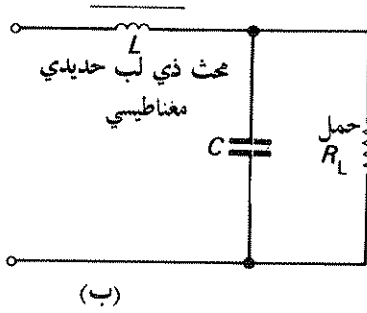
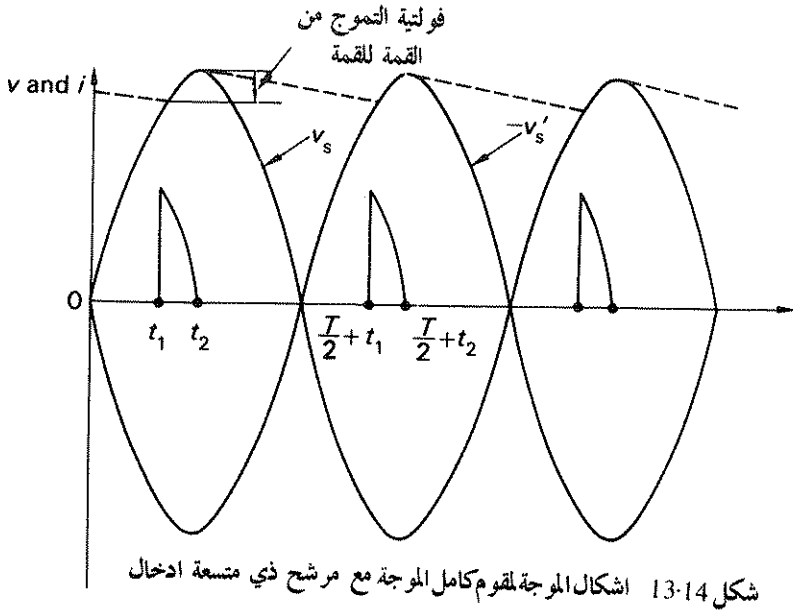
حيث V هي فولتية المتسعة في اللحظة التي يقطع الصمام الثنائي توصيله . وهذا يساوي تقريبا القيمة العظمى لفولتية المصدر اذا كانت ωCR_L اكبر بكثير من واحد ($\omega CR_L \gg 1$) .
ويبدأ الصمام الثنائي بالتوصيل مرة ثانية خلال الفترة التي تكون بها فولتية المصدر موجبة وفي تزايد .
ان هذه اللحظة يمكن ايجادها بمساواة $V e^{-(t-t_2)/CR_L}$ مع $V_m \sin \omega t$ والتي يعطي احد حلولها $T + t_1$ حيث T تساوي فترة فولتية المصدر .
و t_1 تساوي اللحظة من الزمن التي يبدأ الصمام الثنائي فيها بالتوصيل . ولغرض ابقاء التغيير في فولتية الحمل منخفضاً خلال الفترة حينما يكون الصمام الثنائي في حالة عدم التوصيل يكون المطلوب قيمة كبيرة لتأثير الزمن CR_L بالمقارنة مع فترة فولتية المصدر . الا انه يجب ملاحظة انه من العلاقة (14-13) ان القيمة العظمى لتيار الصمام الثنائي تزداد مع زيادة C لذلك يجب الحذر للتأكد من عدم تجاوز القيمة العظمى المسموحة لتيار الذروة للصمام الثنائي . وبين الشكل 12-14 اشكال الموجة للدائرة .



شكل 12-14 اشكال الموجة لقوم نصف موجي مع مرشح ذي متسعة ادخال

ان تحليلاً مشابهاً يمكن عمله لدائرة الموجة الكاملة ويكون تشغيلها مشابهاً لدائرة نصف الموجة خلال فترة الشحن . الا ان المتسعة تفرغ في مقاومة الحمل خلال فترة اقصر معطية اتساعاً اقل للتموج ripple لثابت زمني معين خلال فترة عدم التوصيل . وبين الشكل 13-14 اشكال الموجة لدائرة الموجة الكاملة مع مرشح (Filter) ذي متسعة في جهة الادخال .

بين الشكل 14-14 انواعاً اخرى من الدوائر المرشحة المستخدمة عملياً لأغراض التسوية . ان الوضعية المثالية تكون بتوصيل ممانعة قليلة القيمة في التردد المستخدم الذي يسبب مقاومة عالية للتيار المستمر لمتسعة على التوازي مع الحمل . او بتوصيل ممانعة عالية القيمة في التردد المستخدم والتي تسبب مقاومة واطئة للتيار المستمر كمشح على التوازي مع الحمل . ان ذلك يقلل من التموج عبر الحمل ويكون ذا تأثير قليل على الفولتية المستمرة المتكونة على مدخل دائرة المرشح . ان الدائرة المبينة في شكل (14-14) لا تنفي بهذه المتطلبات تماماً فيما يخص المقاوم R والذي يقلل من التيار المستمر اضافة للتموجات . الا ان هذه الدائرة مفيدة في تطبيقات التيار الواطئ بينما يمكن ابقاء هبوط الفولتية المستمرة عبر R صغيراً ويكون استخدام مقاوم ذي فائدة اقتصادية اكثر من الحث ذي اللب الحديدي المغناطيسي .

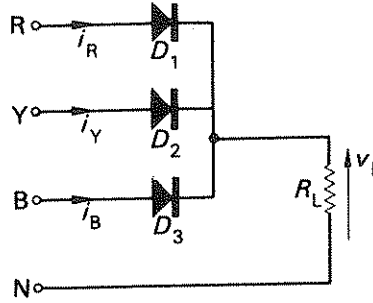


شکل 14-14 دائرة تسوية

(ا) مرشح محث متوالي (ب) مرشح L-C
(ج) مرشح π (د) مرشح مقاومي

4.14 دوائر المقوم لثلاث اطوار

تستخدم الصمامات الثنائية مع المصادر متعددة الأطوار لاعطاء اخراج مقوم والذي يحتوي أساساً على تموجات أقل من المقومات التي تعمل من مصادر ذات الطور الواحد بين الشكل 15.14 دائرة مقوم ذات ثلاث أطوار بسيطة . ان كل صمام ثنائي يوصل لثلث الدورة ويتغير ممر التوصيل فجأة من احد الصمامات الى الاخر حينما تصبح فولتية احد الاطوار موجبة بالنسبة للأخرى . فعلى سبيل المثال حينما تصبح V_{RN} أقل موجبة من V_{YN} فإن توصيل الصمام D_1 يتوقف ، بينما يقوم الصمام D_2 بالتوصيل



شكل 15.14 دائرة مرشح بسيط لثلاث اطوار

ويمكن ايجاد متوسط تيار الحمل كما يلي :

$$I_{dc} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_m \sin \omega t d(\omega t)$$

$$= \frac{3I_m}{2\pi} \left[-\cos \omega t \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} = \frac{3I_m}{2\pi} \left[-\cos \frac{5\pi}{6} + \cos \frac{\pi}{6} \right]$$

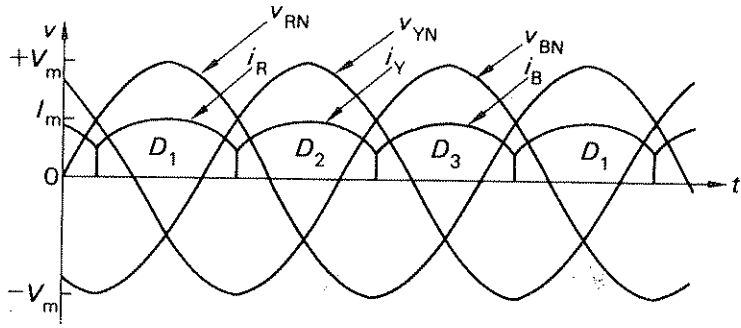
$$= \frac{3I_m}{2\pi} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \right]$$

$$I_{dc} = \frac{3\sqrt{3} I_m}{2\pi} \quad (14.15)$$

ويساوي متوسط فولتية الحمل

$$V_{dc} = I_{dc} R_L$$

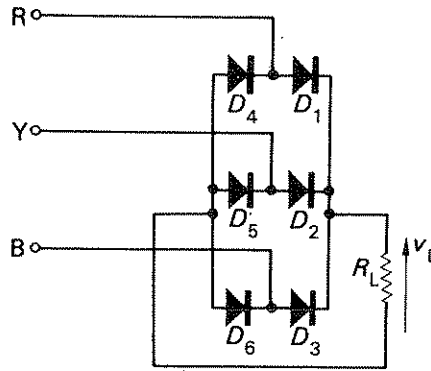
$$\therefore V_{dc} = \frac{3\sqrt{3} I_m R_L}{2\pi} \quad (14.16)$$



شكل 16-14 اشكال الموجة للدائرة المبنية في شكل 15-14

حيث $I_m R_L$ تساوي V_m وهي قيمة الذروة لفولتية الطور عند اهمال المقاومة الامامية للصمام الثنائي .
يبين الشكل 16-14 اشكال الموجة للدائرة .

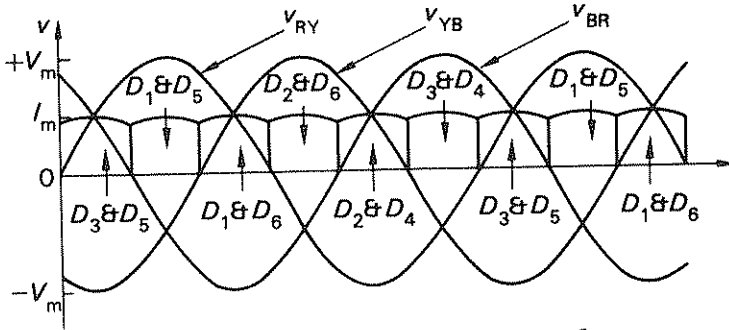
ان دائرة المقوم المبنية في الشكل 17-14 لها فائدة في أنه ليس هناك حاجة لنقطة التعادل حيث تكون الصمامات
الثنائية D_1, D_2, D_4 و D_5, D_3 لدائرة المقوم القطري مشابهة لتني وضعت في الفقرة 3-2:14 بين الخطين R و Y
وكذلك الحال بالنسبة ل D_2, D_3, D_5 و D_6 بين الخطين B و R وبالنسبة ل D_1, D_3, D_5 و D_6 بين
الخطين B و R؛ حينما تكون v_{RY} في قيمتها الموجبة العظمى فان الصمامين D_5 و D_1 يكونان في وضع
التوصيل ويستمران في هذه الحالة الى أن تصبح v_{RB} أكثر موجبة من v_{RY} حيث ينتقل الصمامان D_6 و D_1
الى وضع التوصيل .



شكل 17-14 دائرة مرشح قطري ذي ثلاث اطوار

وبهذه الطريقة فان كل زوج من الصمامات الثنائية سيوصل لسدس الدورة في كل مرة ويوصل كل
صمام ثنائي لثلاث الدورة . ان اشكال الموجة لتلك الدائرة مبنية في الشكل 18-14 حيث يتبين أن تردد
التموج يساوي ضعف القيمة التي حصلنا عليها في الدائرة السابقة . كما ان اتساع التموج ينخفض ايضاً

نظراً لأن فترات التوصيل حول قمم المصدر قد انخفضت .



شكل 18-14 اشكال الموجة للدائرة الجيئة في الشكل 17-14

يمكن ايجاد متوسط تيار الحمل كما يلي

$$\begin{aligned}
 I_{dc} &= \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/3}^{\frac{2\pi}{3}} I_m \sin \omega t d(\omega t) \\
 &= \frac{3I_m}{\pi} \left[-\cos \omega t \right]_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \\
 &= \frac{3I_m}{\pi} \left[-\cos \frac{2\pi}{3} + \cos \frac{\pi}{3} \right] = \frac{3I_m}{\pi} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right]
 \end{aligned}$$

$$\therefore I_{dc} = \frac{3I_m}{\pi} \quad (14.17)$$

مسائل على التقويم

1 . يبين الجدول ادناه المميزات الامامية لصمام ثنائي سيليكوني

2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	0.75	0.50	0	(فولت)	الفولتية
8.5	6.7	5.0	3.3	1.5	0.3	0.1	0	(أمبير)	التيار

ربط الصمام الثنائي على التوالي مع مقاوم قيمته اوم واحد عبر مصدر فولتية متناوبة قيمة ذروتها 10 فولت .
احسب :
قيمة الذروة للتيار الامامي للصمام وقيمة المقاوم التوالي الذي يمكنه تحديد تيار الذروة بـ 5 أمبير .
8.1 A, 1.7Ω

2 صمام ثنائي نصف موصل خواصه الامامية والعكسية يمكن اعتبارها متألية . استخدم في دائرة مقوم موجي لتجهيز حمل مقاومي قيمته 1000 أوم ، فاذا كانت قيمة ج. م . ت . لفولتية المصدر الجسبي تساوي 250 فولت ، احسب :
أ - قيمة ذروة تيار الصمام الثنائي .
ب - متوسط تيار الصمام الثنائي
ج - (ج . م . ت .) لتيار الصمام الثنائي
د - القدرة المقودة في الحمل
(د) 177 mA, (ج) 112 mA, (ب) 354 mA, (أ)

3 صمامان نصف موصلين استخدمهما في دائرة مقوم نصف موجي يمكن اعتبار مقاوميهما الاماميتين ثابتتين وتساويان أوم واحد ومقاوميهما العكسيتين لانهاثيتين . جهزت الدائرة من لفائف ثانوية لمحول قيمة ج . م . ت . لها 300 - صفر - 300 فولت وكان متوسط التيار في الحمل المقاومي يساوي 10 أمبير . احسب :
مقاومة الحمل والقيمة العظمى للفولتية التي تظهر عبر الصمامين الثنائيين في الوضع التعاكسي وكفاءة الدائرة .

26Ω, 811 V, 78.2 %

4 دائرة مقسوم كامل الموجة تجهز حملاً مقاومياً قيمته 2000 أوم . يمكن اعتبار مميزات الصمام الثنائي مثالية . وكل نصف من اللفائف الثانوية للمحول ينتج فولتية اخراج قيمتها 250 فولت اذا كان متوسط التيار في الحمل محدداً بـ 100 ملي أمبير عند ربط مقاومين متساويين على التوالي مع الصمامين الثنائيين . اوجد قيم هذين المقاومين والقدرة المفقودة فيهما .

$$250\Omega, 1.54 \text{ W}$$

5 استخدمت 4 صمامات ثنائية نصف موصلة في دائرة مقوم قنطري يحوي على مقاومات امامية يمكن اعتبارها ثابتة وتساوي 0.1 أوم وعلى مقاومات عكسية لا نهائية . تجهز تيار قيمته المتوسطة 10 أمبير الى حمل مقاومي من مصدر متناوب متغير جيبياً بقيمة ج . م . ت . له 20 فولت . اوجد مقاومة الحمل وكفاءة الدائرة .

$$1.6\Omega, 72\%$$

6 دائرة مقوم نصف موجي استخدمت لشحن بطارية ذات ق د . ك . تساوي 12 فولت ومقاومة داخلية مهمة ، فاذا كانت فولتية المصدر المتناوبه تتغير جيبياً بقيمة ذروة مقدارها 24 فولت . احسب قيمة المقاومة التي يجب ربطها على التوالي مع البطارية لتحديد تيار الشحن بـ 1 أمبير . قيمة الذروة للتيار الذي يسرى في الصمام الثنائي اذا عكست قطبية البطارية .

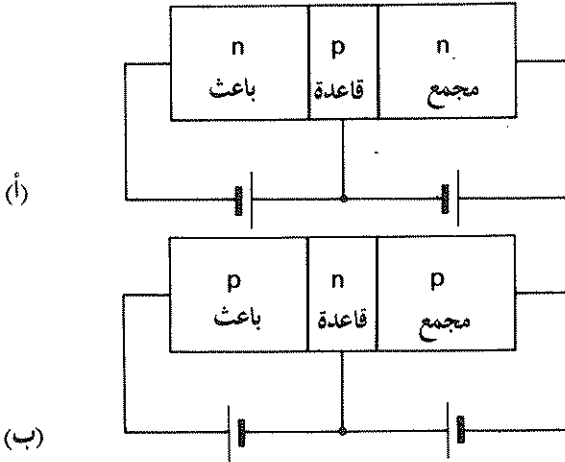
$$2.61\Omega, 13.8 \text{ A}$$

الفصل الخامس عشر

دوائر الترانزستور

يعالج هذا الفصل تشغيل واستخدام الترانزسترات في دوائر التضخيم
وستستخدم الطرق البيانية والتحليلية لهذه الدوائر .
وقد اتخذت الدوائر المكافئة باستخدام البارامتر h^* (h-parameter)
بشكل مبسط أساساً لحساب التضخم بالرغم من وجود جزء يتعلق
بالبارامتر T

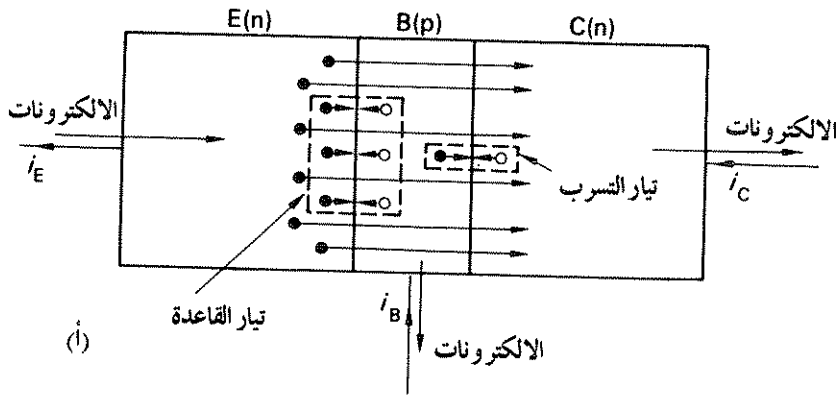
1-15 عمل الترانزستور نوع س-م-س (n-p-n) و نوع م-س-م (p-n-p)
الترانزستور هو اداة من مادة نصف موصلة ذات ثلاث طبقات . تحتوي الوسطى على مادة من
النوع م محاطة بطبقتين من المادة من النوع س . فيكون الترانزستور نوع س-م-س . او بشكل اخر باحتواء
مادة من النوع س بين طبقتين من مادة من النوع م ينتج ترانزستور م-س-م . وفي كلا النوعين يعرف
الحيز الوسطي بالقاعدة (base) والحيزين الخارجيين بالباعث (emitter) والمجمع
(collector) . يكون انحياز المفترق المتكون من الباعث والقاعدة امامياً عند عمل
الترانزستور الاعتيادي . ويكون انحياز المفترق بين المجمع والقاعدة عكسياً . يبين الشكل 1-15



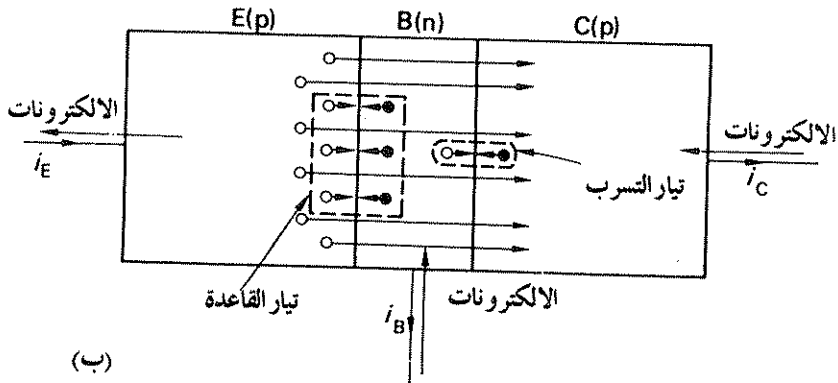
شكل 1-15 انواع الترانزستور (أ) س-م-س (ب) م-س-م

البارامتر هنا هو عامل مشتق من شبكة خاصة مكافئة لشبكة الترانزستور وقد اتخذت تسميات H و T . الخ نسبة
الى شبكات خاصة (المترجمان)

تخطيطاً لوضعيات كل من نوعي الترانزستور مع القطبيات الصحيحة لانحياز الفولتيات المسلطة . ان التيار العابر للمفترق بين الباعث والقاعدة والذي يكون انحيازه امامياً يكون محمولاً بالحاملات الاغلبية من كل من طرفي المفترق . وان الحاملات الاغلبية من الباعث اما ان تندمج مع الحاملات الاغلبية في القاعدة منتجة تياراً خارجياً في توصيلة القاعدة او ان تمر خلال حيز القاعدة وعند وصولها للمفترق بين المجمع والقاعدة فانها تكتسح الى حيز المجمع . ان فرق الجهد عبر الطبقة الحاجزة (barrier layer) في هذا المفترق تساعد في ذلك . وعند عمل الترانزستور الاعتيادي من الضروري أن تصل معظم الحاملات الاغلبية من الباعث الى المجمع . ونتيجة لذلك تصنع طبقة القاعدة رقيقة جداً لكي يكون هناك فراغاً قليلاً لاندماج الحاملات الاغلبية ، كما تصنع الشوائب في حيز القاعدة اقل بكثير من تلك الموجودة في حيز الباعث ، وبذلك يكون هناك احتمال قليل لمصادفة الحاملات الاغلبية من



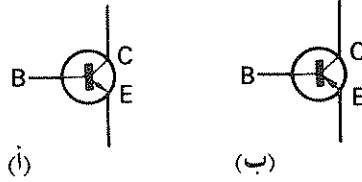
(أ)



(ب)

شكل 2-15 توزيع تيار الترانزستور (أ) س-م-س (ب) م-س-م

الباعث للحاملات الاغلبية في القاعدة وهذا يعني ان تيار الباعث يحتوي كلياً تقريباً على حاملات اغلبية
تعبّر من الباعث الى القاعدة والتي يصل معظمها الى المجمع . ان تيار النضج الاعتيادي عبر مفترق المجمع
الى القاعدة يكمل تيار المجمع وبين الشكل 2-15 توزيع التيار في الترانزسترين من النوع م-س-م-س
والنوع م-س-م .



شكل 3-15 رموز الترانزستورات (أ) م-س-م-س
(ب) م-س-م

ان تيار المجمع يساوي جزءاً من تيار الباعث مقداره α (اقل بقليل من الواحد مثلاً 0.98)
مضافاً اليه تيار التسرب في المفترق المنحاز عكسياً بين المجمع والقاعدة ، اي ان :

$$i_C = \alpha i_E + I_{CBO} \quad (15.1)$$

وكذلك

$$i_E = i_C + i_B$$

$$\therefore i_C = \alpha(i_C + i_B) + I_{CBO}$$

$$\therefore i_C(1 - \alpha) = \alpha i_B + I_{CBO}$$

(15.2)

$$i_C = \frac{\alpha}{1 - \alpha} i_B + \frac{I_{CBO}}{1 - \alpha}$$

تبين العلاقتان (15-1) و(15-2) ان تيار مجمع الترانزستري يمكن ان يتحكم فيه بواسطة تيار الباعث أو
تيار القاعدة .

يبين الشكل 3-15 اشارتي الترانزسترين من النوع م-س-م والنوع م-س-م حيث يشير
السهم الى توصيلة الباعث اي اتجاه التيار التقليدي في الاداة .

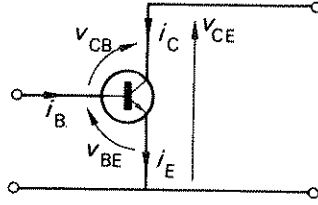
2-15 مميزات الترانزستسر

هناك ثلاث انواع اساسية لربط الترانزستر للحصول على تضخيم :

- 1 . الباعث المشترك او المؤرض (grounded)
- 2 . القاعدة المشتركة
- 3 . المجمع المشترك

وقد اشتقت هذه التسميات من الطبقة المشتركة بين دائرتي الادخال والاخراج .

بين الشكل 4-15 ترانزستور س - م - س مربوطاً في وضعية الباعث



شكل 4-15 ترانزستور س-م-س لوضعية القاعدة المشتركة

المشترك مبيناً عليها الكميات الممكن تغييرها ، حيث يتضح وجود ستة كميات ممكنة التغيير وهي :

$i_B, i_C, i_E, v_{BE}, v_{CE}$ وكذلك v_{CB}

ونظراً لأن

$$i_B + i_C = i_E$$

وكذلك

$$v_{CB} + v_{BE} = v_{CE}$$

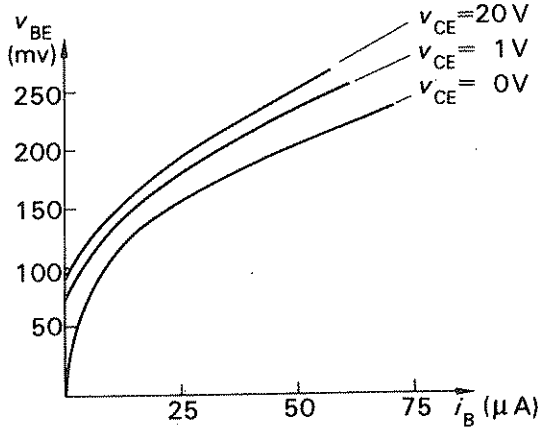
فمعرفة اي فولتيتين واي تيارين يمكن ايجاد الكمية التالية في كل حالة . لذلك يمكن التنبؤ بتشغيل الترانزستور عند معرفة مجموعة من المميزات التي تبين الاعتماد المتداخل بين الفولتيتين والتيارين . ان من المناسب جداً استخدام الفولتيتين والتيارين اللذين هما كميته الأَدْخَال والأَخْرَاج . وهذه الكميات لوضعية الباعث المشترك هي v_{CE} ، i_B ، i_C ان اي كميته من هذه الكميات بالامكان اعتبارهما كميته غير معتمدين والمتغيرين الآخرين متغيرين معتمدين ، لذلك بالامكان تمثيل المميزات رياضياً كما يلي :

$$v_{BE} = f_1(i_B, v_{CE}) \quad (15.3)$$

$$i_C = f_2(i_B, v_{CE}) \quad (15.4)$$

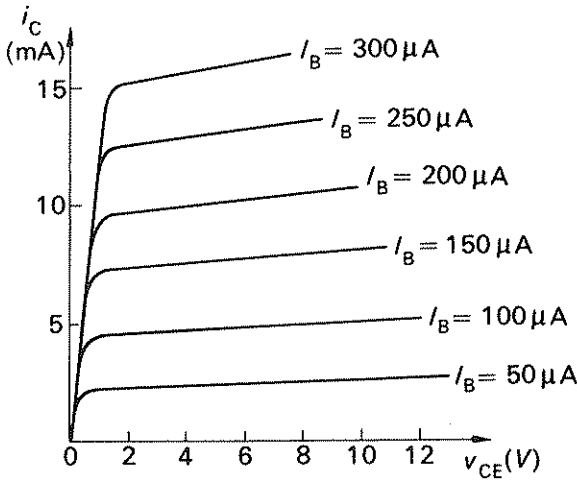
حيث قد اختير كل من i_B و v_{CE} كمتغيرين غير معتمدين والمتغيرين v_{BE} و i_C كمتغيرين معتمدين . ان العلاقة (15-3) تدلنا على أن v_{BE} هي دالة (اي أنها معتمدة على) i_B و v_{CE} . ولتوضيح ذلك بيانياً من الضروري ابقاء احد المتغيرات غير المعتمدة ثابتاً عند توضيح العلاقة بين المتغير المعتمد والمتغير غير المعتمد ، فعلى سبيل المثال يبين الشكل 5-15 تغيير v_{BE} مع i_B لعدد من القيم المختلطة لـ v_{CE}

وتعرف هذه المميزات بمميزات ادخال الترانزستور في وضعية الباعث المشترك .



شكل 5.15 مميزات الادخال النموذجية لترانزستور بوضعية الباعث المشترك

من الشكل 5.15 يتبين أنه لقيمة ثابتة V_{BE} فإن I_B يتناقص مع زيادة قيم V_{CE} . وذلك ناتج من حقيقة زيادة V_{CE} ومن ثم V_{BE} ، مما ينتج عنه زيادة سمك الطبقة الحاجزة في المفتوح المنحاز عكسياً بين المجمع والقاعدة . لذلك فإن سمك حيز القاعدة يقص عملياً ومن ثم يكون هناك إعادة اتحاد أقل بين الحاملات الاغلبية في حيز القاعدة (اي يكون هناك نقصان في تيار القاعدة) .



شكل 6.15 مميزات الاخراج النموذجية لترانزستور بوضعية الباعث المشترك

يبين الشكل 6:15 تغيير i_C مع V_{CE} لعدة قيم مختلفة i_B . وتعرف مثل هذه المميزات بمميزات الاخراج للترانزستور المعني في وضعية الباعث المشترك. يظهر من العلاقة 2:15 ان i_C يجب أن يبقى ثابتاً عند ثبوت i_B ، إلا أنه بسبب الانخفاض الفعلي في سمك القاعدة عند زيادة V_{CE} كما وصفنا أعلاه، فإن جزءاً « متزايداً » من تيار الباعث يصل للمجمع (أي أن α تزداد) وبالرغم من أن α تميل إلى أن تكون صغيرة فإن $\frac{1}{1-\alpha}$ يزداد بسرعة عند زيادة α واقتربها من الواحد، فمثلاً

$$\alpha = 0.98 \quad \frac{1}{1-\alpha} = \frac{1}{1-0.98} = 50$$

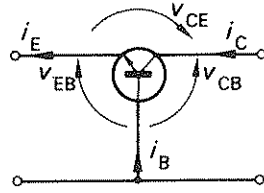
(أي بزيادة مقدارها 0.1 بالمائة تقريباً) $\alpha = 0.981$

$$\frac{1}{1-\alpha} = \frac{1}{1-0.981} = 52.6 \quad (\text{أي بزيادة 5.2 بالمائة})$$

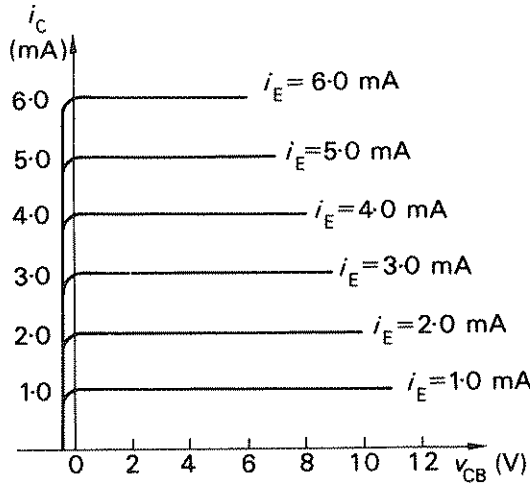
وهذا يوضح الزيادة المحسوسة في i_C عند زيادة V_{CE} عند ثبوت i_B . تبين مميزات الاخراج كذلك انه عندما تقترب V_{CE} من الصفر فإن هناك نقصاناً سريعاً في i_C وهذا يعود إلى أن المقترب بين المجمع والقاعدة يصبح منحازاً امامياً قبل أن تصل V_{CE} إلى الصفر نظراً لأن V_{BE} نفسها تكون بنفس القطبية مع V_{CE} ، وعندما يصبح هذا المقترب منحازاً امامياً فإن تيار المجمع ينعكس. ان بالامكان تبيان تغيير i_C مع i_B لقيم ثابتة من V_{CE} وتغيير V_{BE} مع V_{CE} لقيم ثابتة من i_B بنفس الشكل. ونظراً لأنهما غير مستخدمين بكثرة كالشكليين المبينين اعلاه لذلك فقد حذفنا. وكما بينا سابقاً فإن المميزات النموذجية المبينة في شكل 5:15 و شكل 6:15 هما لترانزستورين نوع س-م-س، لذلك فإن الفولتيتين V_{BE} و V_{CE} تكونان ذوى قطبيتين موجبتين. وبشكل مشابه باستخدام الاصطلاح أن التيارات السارية نحو الترانزستور موجبة والمتعددة عنه سالبة، فإن التيارين i_C و i_B يكونان موجبين من ذلك تبين ان الأعتبارات الرياضية قد روعيت عند الرسم في الربع الاول. كما يمكن الحصول على مميزات مشابهة للترانزستور م-س-م عدا ان الفولتيات والتيارات تكون سالبة ومع هذا فان من الاعتيادي رسم المميزات في الربع الاول وبالمقاييس المناسبة

2:2:15 القاعدة المشتركة

يبين الشكل 7:15 ترانزستور بوضعية القاعدة المشتركة وقد رسمت مميزات الادخال والاخراج بنفس الطريقة مثل الباعث المشترك الا انه يجب ملاحظة ان كميتي الادخال V_{EB} و i_E سالتان ويبين الشكل 8:15 مميزات نموذجية لذلك.



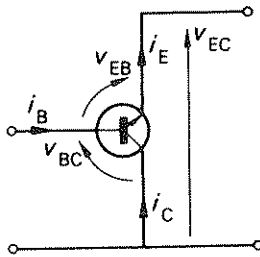
شكل 7-15 ترازستورس -م-س بوضعية القاعدة المشتركة



شكل 8-15 مميزات الاحراج النموذجية لترانزستور بوضعية القاعدة المشتركة

3-2-15 المجمع المشترك

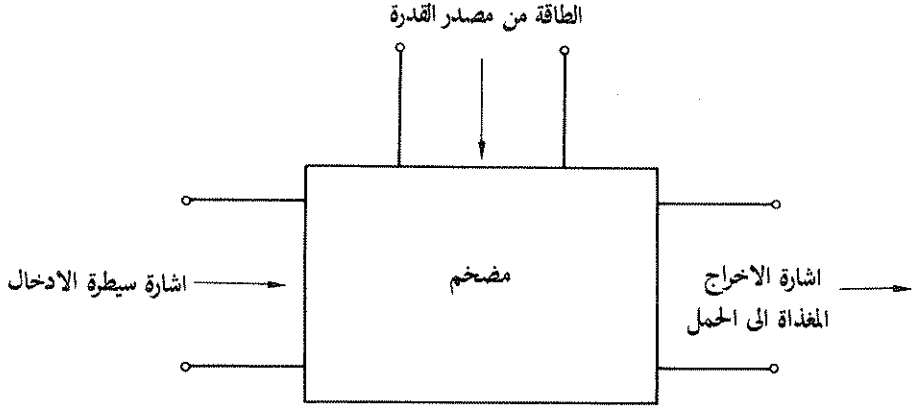
يبين الشكل 9-15 ترازستراً في وضعية المجمع المشترك حيث يمكن رسم مميزات الادخال



شكل 9-15 ترازستورس -م-س بوضعية المجمع المشترك

والاخراج بنفس الطريقة كما في وضعيتي الباعث المشترك والقاعدة المشتركة وهذه المميزات غير شائعة نسبياً لذلك لم تبين هنا .

3-15 الترانزستور كمضخم

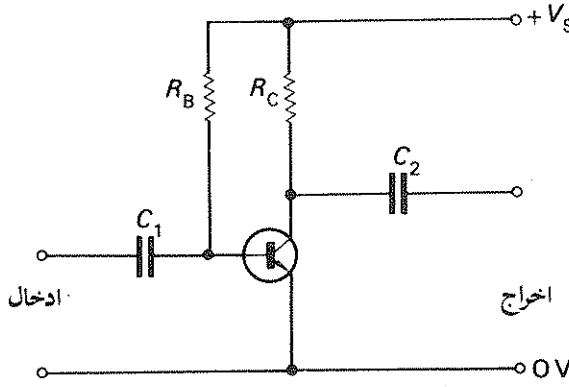


شكل 10-15 نسق تشغيل مضخم

يوضح الشكل 10-15 أساس تشغيل المضخم . حيث تسيطر اشارة الادخال على كمية القدرة التي يأخذها المضخم من مصدر القدرة (مثلاً مصدر مقوم او بطارية) ويحولها الى قدرة في الحمل . ففي المضخمات العملية لا يتم هذا التبدل بكفاءة مقدارها 100 بالمائة حيث يفقد قسم من القدرة المجهزة من المصدر في المضخم كحرارة غير مرغوب فيها وينتج المضخم كسباً (Gain) حينما تكون القدرة المجهزة الى الحمل اكبر من قدرة الادخال المسيطرة .

تبين العلاقتان (15-1) و (15-2) ان تيار المجمع في الترانزستور يمكن السيطرة عليه بواسطة تياري الباعث والقاعدة على التوالي . فعند ربط حمل بشكل فعال بين المجمع والتوصيلة المشتركة فان الترانزستور يمكن ان ينتج كسباً . وهناك مطلب آخر يجب ان يستوفى في نوع المضخم الذي ندرسه هنا فان شكل موجة اشارة الاخراج يجب ان تكون مشابهة لشكل موجة الادخال وبعبارة اخرى فان المعلومات (information) المتضمنة في شكل الموجة ستتشوه لحد ما . فمثلاً النغمة لاشارة موسيقية قد تتغير باستخدام مضخم في نظام اعادة تسجيل صوتي .

في تطبيقات عديدة تكون اشارة الادخال الى مضخم كمية متناوبة . فعند استخدام ترانزستور يكون من غير الممكن الحصول على اشارة ادخال متناوبة صحيحة ، نظراً لان ذلك يستلزم ان يكون المفرق بين الباعث والقاعدة منحازاً عكسياً خلال جزء من الدارة . وعندها لا يكون عمل الترانزستور اعتيادياً . وكتيجة لذلك من الضروري تجهيز مركبة مستقرة للادخال بحيث ترتكب عليها المركبة المتناوبة على ان يكون مقدار المركبة المستقرة بحيث يبقى المفرق بين الباعث والقاعدة منحازاً امامياً طول الوقت كما يجب عمل وضعية مشابهة لدائرة الأخراج .



شكل 11-15 دائرة مضخم ترانزستور

يبين الشكل 11-15 دائرة مضخم ترانزستور عملية تستخدم ترانزستور س-م-س وقد ربط المقاوم R_C بين المجمع وخط التجهيز الموجب ، بينما يجهز المقاوم R_B ممرا لتيار القاعدة المستقر (او المتحاز) . وتغذى اشارة الادخال المتناوبة عبر متسعة اقتران C_1 الى قاعدة الترانزستور . ان المتسعة C_1 تمنع اشارة المصدر ان يكون لها اي تأثير على المركبة المستقرة لتيار القاعدة . وبصورة مشابهة تمنع متسعة الاقتران C_2 اي حمل مرتبط عبر طرفي الاخراج من ان يؤثر على ظروف الاستقرار في المجمع . واذا اختيرت قيمتا C_1 و C_2 بحيث تكونا عاليتين بما فيه الكفاية فانهما تسببان ممانعة قليلة . في تردد الاشارة والتي للسهولة يمكن اعتبارها تتغير جيوبا مع الزمن . ومن ثم يكون تأثيرها على تشغيل الذائرة مهملا في هذا التردد .

نفرض I_B يساوي تيار القاعدة المستقر او الساكن (quiescent) فانه

$$V_S = I_B R_B + V_{BE}$$

حيث V_{BE} تساوي الفولتية الساكنة بين القاعدة والباعث لذلك

$$R_B = \frac{V_S - V_{BE}}{I_B}$$

الا انه في معظم الاحوال تكون V_{BE} اصغر بكثير من V_S ، لذلك

$$R_B \doteq \frac{V_S}{I_B} \quad (15.5)$$

واذ انتجت الاشارة المسلطة تيار قاعدة متناوب وفق المعادلة

$$i_b = I_{b_m} \sin \omega t$$

فان تيار القاعدة الكلي يكون

$$i_B = I_B + I_{b_m} \sin \omega t$$

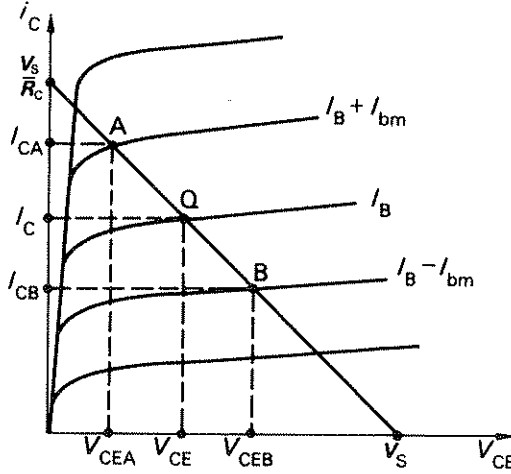
$$v_{CE} = V_S - i_C R_C$$

وفي كل لحظة

$$i_C = -\frac{1}{R_C} v_{CE} + \frac{V_S}{R_C} \quad (15.6)$$

لذلك

وبمقارنة (15.6) مع العلاقة (14.1) تبين ان خط الحمل يمكن رسمه باستخدام قيمة R_C وفولتية التجهيز V_S . يبين الشكل 12:15 مثل هذا الخط مرسوماً فوق مجموعة من مميزات الاخراج للترانزستور المستخدم. ويمكن ايجاد i_C و V_{CE} لاي قيمة من قيم تيار القاعدة من تقاطع المميزات لتيار القاعدة هذا مع خط الحمل.



شكل 12:15 انشاء خط الحمل لمرحلة مضخم ترانزستور

تعود النقاط A ، Q و B على خط الحمل الى القيم العظمى والمتوسطة والصغرى لتيار القاعدة والتي هي ($I_B + I_{bm}$) ، I_B ، ($I_B - I_{bm}$) على التوالي اما القيم العائدة لها من تيار المجمع فهي I_{CA} ، I_C و I_{CB} على التوالي ، ولفولتية بين المجمع والباعث V_{CEA} ، V_{CE} و V_{CEB} على التوالي وتعرف النقطة Q بنقطة السكون (او النقطة الواقفة) .

باستخدام المميزات الموصوفة اعلاه بالامكان اشتقاق الكسب الذي هو النسبة بين الأخراج والادخال ويمكن ان تكون النسبة للتيار أو الفولتية أو القدرة .

الكسب الرمز : G الوحدة : بلا وعلى سبيل المثال فان كسب التيار G_i يساوي

$$G_i = \frac{\Delta I_o}{\Delta I_i} = \frac{I_{CA} - I_{CB}}{2I_{bm}} \quad (15.7)$$

وبشكل مشابه فإن كسب الفولتية G_v يساوي :

$$G_v = \frac{\Delta V_o}{\Delta V_i} \quad (15.8)$$

ولحساب كسب الفولتية فإنه من الضروري توفر معلومات فهم تغير فولتية الادخال التي انتجت تغيراً في تيار القاعدة ويمكن تقدير ذلك عند توفر مجموعة من مميزات الادخال كتلك المبينة في الشكل 15-5 ان هناك صعوبة اساسية لاجراء ذلك نظراً لان الفولتية بين المجمع والباعث تتغير باستمرار. الا ان هناك خطأ بسيطاً يتولد اذا افترضنا ان الفولتية بين المجمع والباعث ثابتة عند حساب الفولتية من القاعدة الى الباعث المتناوبة والتي تنتج تيار قاعدة متناوب. ان تبسيطاً آخر يمكن اجراؤه بافتراض ان مميزات الادخال خطية ، وعليه فان كسب القدرة يساوي :

$$G_p = \frac{P_o}{P_i} \frac{\text{قدرة الاشارة في الحمل}}{\text{قدرة الاشارة في الترانزستور}}$$

سنفترض الان ان R_c هي الحمل بالرغم من انه في الدوائر العملية تغذى مرحلة الترانزستور حملاً مربوطاً عبر طرفي الاخراج ، حيث سنأتي الى مثل هذا الحمل فيما بعد . ان مغزى العلاقة (15-9) يعني ان القدرات المحسوبة هي تلك القدرات الناتجة من كميات اشارات التردد والتي ليس لها اية علاقة مع القدرة الناتجة من الكميات المستمرة .

قدرة الاشارة في الحمل = ج.م.ت . لاشارة . فولتية الحمل × ج.م.ت . لاشارة تيار الحمل قدرة الاشارة في الترانزستور = ج.م.ت . لاشارة الفولتية بين القاعدة والباعث × ج.م.ت . لاشارة تيار القاعدة
لذلك

$$G_p = \frac{\text{ج.م.ت . لاشارة فولتية الحمل} \times \text{ج.م.ت . لاشارة تيار الحمل}}{\text{ج.م.ت . لاشارة الفولتية بين القاعدة والباعث} \times \text{ج.م.ت . لاشارة تيار القاعدة}}$$

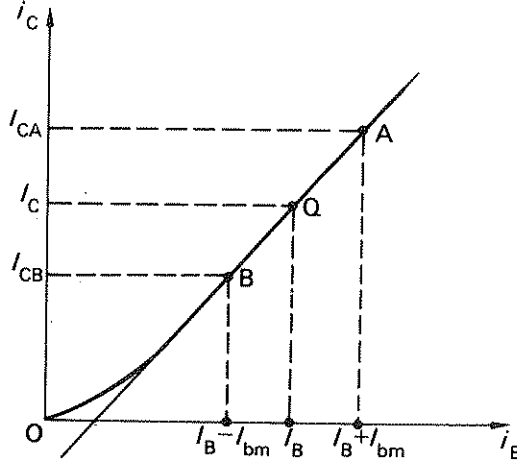
لذلك

كسب القدرة = كسب الفولتية × كسب التيار
اي ان

$$G_p = G_v G_i \quad (15.10)$$

فمن وضعية خط الحمل في الشكل 12-15 يمكن رسم العلاقة بين i_c و i_b . ومنه يمكن رسم منحنى مشابه للشكل المبين في شكل 13-15 . ويعرف مثل هذا المنحنى بالمميزات الديناميكية للقيم V_s و R_c المستخدمتين في ترانزستور معين . ان قيمة مثل هذه المميزات اذا

كانت خطية على المدى المستخدم ينتج ان شكل موجة i_c يكون مطابقاً مع i_b . وهذا لا يعني بالضرورة ان الترانزسترا يشوه شكل موجة اشارة الادخال ، نظراً لان فحص الشكل 5-15 بين ان مميزات الادخال للترانزسترا نفسها غير خطية . لذلك فان شكل موجة اشارة تيار القاعدة لا يكون نسخة طبق الاصل من شكل موجة الاشارة المسلطة . ان كمية التشوه الناتج بهذه الطريقة لا يكون كبيراً عادة ، الا انه نظراً لان مقاومة المصدر للاشارة تكون عادة كبيرة ما فيه الكفاية لكي يكتسح تأثير التغيير في مقاومة الادخال لذلك فان كون المميزات i_c/i_b خطية ، يكون ذلك دليلاً جيداً على قلة التشوه .



شكل 13-15 . مميزات ديناميكية

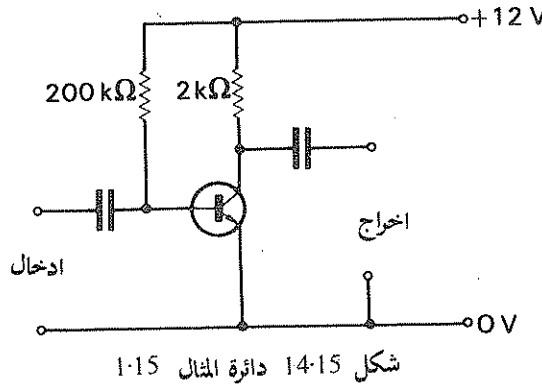
سنفترض الان المقاومة R_L (اي حمل عملي) مربوطة بين طرفي الاخراج . ويمكن ان تكون مقاومة ادخال مرحلة مضخم اخر والتي يمكن ان تجهز كسبا آخر . فاذا كانت مفاعلة C_2 صغيرة فان الحمل الظاهر في الترانزسترا يكون R_C على التوازي مع R_L نظراً ، لان ممانعة مصدر التيار المستمر تكون قليلة جداً في تردد الاشارة ، لذلك اذا كان :

$$R_p = \frac{R_C R_L}{R_C + R_L}$$

فان تصرف الدائرة يمكن ايجاده برسم خط R_p . ان مثل خط الحمل هذا يكون ميله يساوي $1/R_p$ - بنفس الطريقة التي يكون بها خط الحمل ل R_C ذو ميل يساوي $1/R_C$ - ان نقطة السكون Q تكون نقطة على خط الحمل ل R_p . وبنفس الوقت ل R_C نظراً لان فولتية الباعث الى المجمع لا تتأثر ب R_L . حينما تكون اشارة الادخال صفراً . لذلك بمعرفة نقطة واحدة وفيل الخط يمكن رسم ذلك الخط . وتكون الطريقة برسم خط الحمل ل R_C كما مر سابقاً . ثم تأشير نقطة السكون عليه ، ومن خلال نقطة السكون يمكن رسم خط الحمل ل R_p . ان خط الحمل الجديد هذا يستخدم بنفس الطريقة تماماً

كالمسابق لحساب الكسب . ويعرف خط الحمل لـ R_C بخط حمل التيار المستمر (نظراً لأن R_C هو الحمل على الترانزستور للتيار المستمر) بينما يعرف خط الحمل لـ R_P بخط حمل التيار المتناوب . ان استخدام خط الحمل للتيار المتناوب موضح في المثال (1-15) .

مثال (1-15) يبين الشكل (14-15) مرحلة مضخم وكانت مميزات الترانزستور المستخدم فيه خطية ضمن المدى المعطى في الجدول ادناه .



	$i_B = 0\mu A$		$i_B = 20\mu A$		$i_B = 40\mu A$		$i_B = 60\mu A$		$i_B = 80\mu A$		$i_B = 100\mu A$		$i_B = 120\mu A$	
$v_{CE}(V)$	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10
$i_C(mA)$	0.20	0.20	0.88	1.40	1.70	2.38	2.69	3.27	3.70	4.39	4.65	5.39	5.56	6.8

ربط حمل مقاومي مقداره 2 كيلو اوم عبر طرفي الاخراج ، وجهزت المرحلة من مصدر اشارة ذي فولتيه مقدارها نصف فولت (قيمة ذروة) وذات مقاومة داخلية مقدارها 10 كيلو اوم . فاذا امكن اعتبار مقاومة ادخال الترانزستور ثابتة وتساوي 2.5 كيلو اوم احسب كسب التيار والفولتيه والقدرة لمرحلة المضخم .

افرض ان ممانعتي متسعة الاقتران C_1 و C_2 تساويان صفراً .

$$V_s = 12 V \quad \frac{V_s}{R_c} = \frac{12}{2} = 6 mA.$$

$$= \frac{2 \times 2}{2 + 2} = 1.0 k\Omega$$

$$= - \frac{1}{1.0} = -1.0 mA/V$$

$$= I_B = \frac{12}{200} = 0.06 mA = 60 \mu A.$$

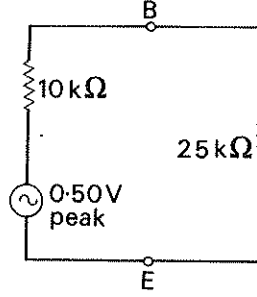
لخط الحمل للتيار المستمر

لخط الحمل للتيار المتناوب : حمل التيار المتناوب

اذن ميل خط حمل التيار المتناوب

تيار القاعدة الساكن

(عند اهمال هبوط الفولتيه الصغير بين القاعدة والباعث)



شكل 15-15 جزء من المثال 1.15

يبين الشكل 15-15 دائرة الإدخال مع إهمال تأثير مقاوم الانحياز 200 كيلو أوم والذي هو بشكل فعال على التوازي مع مقاومة الإدخال التي قيمتها 2.5 كيلو أوم هذا على فرض إهمال ممانعة المصدر ذي 12 فولت .

$$= \frac{0.50}{10 + 2.5} = 0.04 \text{ mA} = 40 \mu\text{A}.$$

$$= 60 + 40 = 100 \mu\text{A}.$$

$$= 60 - 40 = 20 \mu\text{A}.$$

اذن القيمة القصوى لإشارة تيار القاعدة

اذن القيمة القصوى لتيار القاعدة

القيمة الصغرى لتيار القاعدة

يبين الشكل 16-15 تركيباً بيانياً لذلك .

من خط حمل التيار المتناوب :

التغير في تيار المجمع يساوي $4.9 - 1.2 = 3.7$ ملي امبير من القمة للقمة وهذا التغير في التيار المجمع يشترك بين مقاوم المجمع 2 كيلو أوم ومقاوم الحمل 2 كيلو أوم اي انها في هذه الحالة تشترك بالتساوي :

اذن التغير في تيار الحمل يساوي $1.9 = 3.7/2$ ملي امبير من القمة الى القمة

اذن كسب التيار للمرحلة

$$24 = \frac{1.9}{0.08} = \frac{1.9}{0.10 - 0.02}$$

ملاحظة : ان كسب التيار للترانزستور في هذا المثال يكون ضعف الكسب للمرحلة نظراً لان الترانزستور يغذى مقاومين كل منهما 2 كيلو أوم على التوازي حيث ان نصف كسب التيار يستخدم فقط في الحمل .

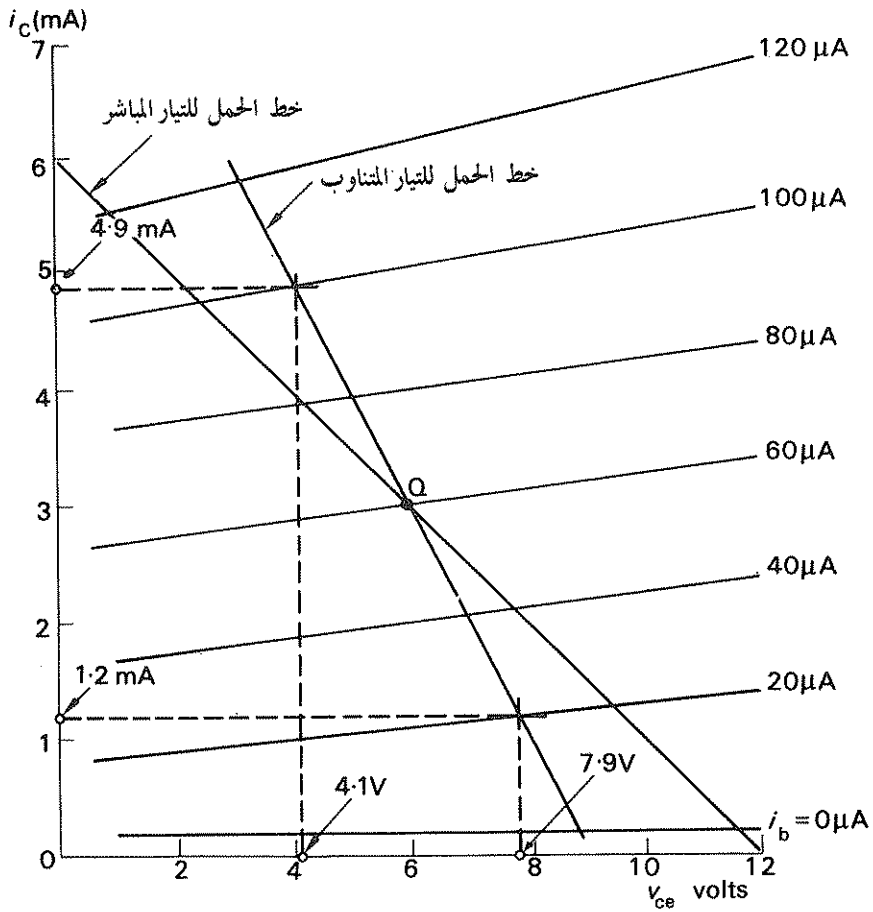
$$7.9 - 4.1 = 3.8$$

ان التغير في الفولتية بين المجمع والباعث يساوي التغير في فولتية الحمل وتساوي «

فولت من القمة الى القمة .

والتغير في الفولتية بين القاعدة والباعث تساوي $0.2 = 0.08 \times 2.5$ فولت من القمة الى القمة .

$$\therefore G_v = \frac{3.8}{0.20} = 19.$$



شكل 16-15 المخطط البياني للمثال 1.15

ج. م. ت. لفولتية الحمل تساوي $\frac{3.8}{2\sqrt{2}} V$

اذن قدرة الاشارة في الحمل = $\frac{\left(\frac{3.8}{2\sqrt{2}}\right)^2}{2} mW$

او ج. م. ت. لتيار الحمل = $\frac{1.9}{2\sqrt{2}} mA$

$$2 \times \left(\frac{1.9}{2\sqrt{2}} \right)^2 = \text{اذن قدرة الاشارة في الحمل}$$

$$\frac{\left(\frac{0.20}{2\sqrt{2}} \right)^2}{2.5} \text{ mW} = \text{قدرة الاشارة في المرحلة}$$

$$\frac{456}{\left(\frac{0.20}{2\sqrt{2}} \right)^2 / 2.5} = \frac{\left(\frac{3.8}{2\sqrt{2}} \right)^2 / 2}{\left(\frac{0.20}{2\sqrt{2}} \right)^2 / 2.5} = \text{اذن كسب القدرة في المرحلة}$$

$$\begin{aligned} G_1 G_v &= G_p \quad \text{او} \\ 24 \times 19 &= \\ \underline{\underline{456}} &= \end{aligned}$$

ويمكن معالجة المضخمات المشتركة القاعدة بنفس الطريقة حيث تركيب خطوط الحمل فوق مميزات الاخراج بنفس الطريقة المبينة في شكل 8-15

4-15 الباراميتترات

ان تحليل دوائر مضخمات الترانزستور بطريقة بيانية كما أوضحنا في الفقرة 3-15 تحوي فائدة في انها تعطي دلالة حول اي تشويه يحدث في شكل الموجة ، الا ان الطريقة تظهر بانها مملّة اضافة الى ان مميزات الترانزستور لا تكون متوفرة على الدوام . وكنتيجة لذلك تستخدم الان طرق تحليلية باستعمال باراميتترات الترانزستور ، والتي توضح تشغيله . وسنوضح ادناه اشتقاق احد مجاميع الباراميتترات لمنظومة الباعث المشترك .

سبق ان بينا في الفقرة 2-15 ان مميزات الترانزستور في منظومة الباعث المشترك يمكن وضعها بشكل

$$v_{BE} = f_1(i_B, v_{CE})$$

$$i_C = f_2(i_B, v_{CE})$$

فاذا تغير . المتغيران غير المعتمدين i_B و v_{CE} بمقدار δ_{i_B} ، $\delta_{v_{CE}}$ على التوالي ، فانه ينتج تغيرات معتمدة على ذلك بمقدار $\delta_{v_{BE}}$ و δ_{i_C} ناتجة في المتغيرات المعتمدة . وبالرغم من ان المنحنيات التي تربط المتغيرات هي غير خطية ، فاذا حافظنا على كون التغيرات صغيرة نسبياً فان تقريباً معقولاً ينتج كما يلي :

$$\delta v_{BE} = \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B} \right|_{v_{CE} \text{ ثابت}} \times \delta i_B + \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial v_{CE}} \right|_{i_B \text{ ثابت}} \times \delta v_{CE}$$

وكذلك

$$\delta i_C = \left. \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \right|_{v_{CE} \text{ ثابت}} \times \delta i_B + \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \right|_{i_B \text{ ثابت}} \times \delta v_{CE}$$

حيث أن التفاضلات الجزئية هي انحدارات المميزات العائدة لها والتي يفرض أنها ثابتة فمثلاً انحدار المميزات v_{BE}/i_B يساوي

$$\left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B} \right|_{v_{CE} \text{ ثابت}}$$

لذلك اذا كان

$$h_{fe} = \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial i_B} \right|_{v_{CE} \text{ ثابت}}$$

$$h_{re} = \left. \frac{\partial v_{BE}}{\partial v_{CE}} \right|_{i_B \text{ ثابت}}$$

$$h_{fe} = \left. \frac{\partial i_C}{\partial i_B} \right|_{v_{CE} \text{ ثابت}}$$

$$h_{oe} = \left. \frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \right|_{i_B \text{ ثابت}}$$

$$\text{فإن } \delta v_{BE} = h_{ie} \delta i_B + h_{re} \delta v_{CE} \quad (15.11)$$

$$\delta i_C = h_{fe} \delta i_B + h_{oe} \delta v_{CE} \quad (15.12)$$

اذا كانت التغيرات التي تحدث جيبية مع الزمن فان كلاً من δi_C , δi_B , δv_{CE} , δv_{BE} يمكن تمثيلها بـ I_c , I_b , V_{ce} , V_{be}

على التوالي حيث تمثل هذه الحدود بقيم ج. م. ت. (أوقيم الذروة) للتغيرات الجيبية. لذلك تحت هذه الشروط

$$V_{be} = h_{ie} I_b + h_{re} V_{ce} \quad (15.11.1)$$

$$I_c = h_{fe} I_b + h_{oe} V_{ce} \quad (15.12.1)$$

علينا ان نلاحظ ان h_{ie} له وحدة المقاومة (اوم) بينما h_{oe} له وحدة التوصيلة (سيمنس) .
 اما الكميتان الاخرتان h_{re} و h_{fe} فهما رقمان مجردان ، وقد اشتقت كافة هذه المقادير باعتبار V_{ce}
 تساوي صفراً (أي ان طرفي الاخراج موصلان بدورة قصر للتيار المتناوب) أو i_b يساوي صفراً (أي
 ان طرفي الادخال مفتوحان للتيار المتناوب) ولهذا السبب سميت كذلك :

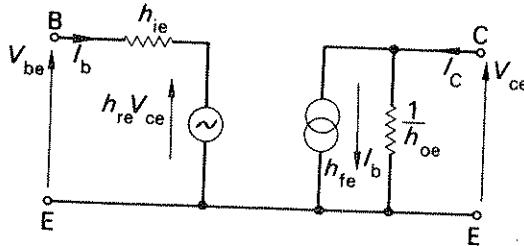
h_{ie} يساوي ممانعة دائرة القصر في الادخال للباعث المشترك

h_{oe} يساوي نسبة الفولتية المعكوسة عند الدائرة المفتوحة في الباعث المشترك

h_{fe} تساوي نسبة التيار الامامي لدائرة القصر في الباعث المشترك

h_{re} سماحية دائرة الاخراج المفتوحة في الباعث المشترك .

وتعرف هذه المجموعة من البارامترات بالبارامترات الهجينية (Hybrid) للإشارة الصغيرة . ويستخدم الرمز (e)
 من الان فصاعداً للإشارة الى وضعية الباعث المشترك .

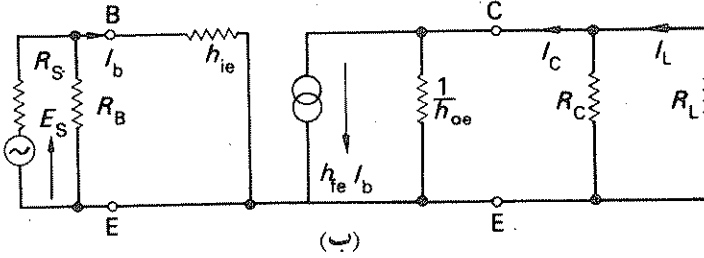
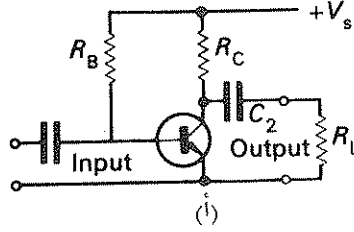


شكل 17-15 الدائرة المكافئة لترانزستور بوضعية الباعث المشترك

ويمكن تمثيل العلاقتين (15-11:1) و (15-12:1) بالدائرة المبينة في الشكل 17-15 لذلك
 يمكن استخدام هذه الدائرة كدائرة مكافئة للترانزستور . ان الظروف المبينة في الاشتقاق يجب ان تبقى
 في الذهن عند استخدامها ، وهذه الظروف تشمل كون الاشارات المستخدمة صغيرة نسبياً بحيث تكون
 فرضية كون المميزات خطية هي فرضية معقولة . وان الدائرة تنطبق فقط في حالة تغير الكميات المستخدمة .

يمثل مولد الفولتية $h_{re} V_{ce}$ مميزات التغذية الخلفية (Feedback characteristic)
 للترانزستور بينما تؤثر فولتية اشارة الاخراج لحد ما في تيار اشارة الادخال . وبالرغم من ان V_{ce} يمكن
 ان تكون أكبر بكثير من V_{be} بسبب كسب الفولتية الناتج من الترانزستور فان h_{re} تكون صغيرة جداً
 (بحدود 5×10^{-4}) كما تكون $h_{re} V_{ce}$ صغيرة بالمقارنة مع V_{be} . لذلك فان مولد الفولتية
 هذا يمكن حذفه من الدائرة المكافئة دون حصول اخطاء كبيرة . وهذا يمكن تبريره عملياً نظراً لأن
 التفاوت المسموح (allowed tolerance) لقيم بارامترات الترانزستور لنوع معين يكون
 واسعاً .

يبين الشكل 18-15 مرحلة أساسية لمضخم مشترك الباعث مع دائرته المكافئة وسنحلل هذه الدائرة
 مع مقاديرها المشتقة بالنسبة للخواص المهمة .



شكل 18-15 (أ) مرحلة مضخم الباعث المشترك
(ب) الدائرة المكافئة لـ (أ)

ملاحظات :

1. ان مقاوم الانحياز R_B مربوط عملياً على التوازي مع ادخال الترانزستور بين القاعدة والباعث نظراً لأن مصدر الفولتية V_s يظهر كدائرة قصر قريبة من الإشارة كما ان مربوط عملياً بين المجمع والباعث بالنسبة للإشارة .
2. ان مصدر الإشارة للمرحلة قد افترض كمصدر لـ ق . د . ك . كما ان E_s تكون على التوالي مع المقاوم R_s .
3. ان ممانعات متسعات الاقتران C_1 و C_2 قد افترضنا صغيرتين لحد امكانية اهمالهما من الدائرة المكافئة للترانزستور

$$G_i = \frac{I_c}{I_b}$$

$$I_c = \frac{1}{\frac{1}{h_{oe}} + R_p} h_{fe} I_b \quad \text{حيث} \quad R_p = \frac{R_C R_L}{R_C + R_L}$$

$$G_i = \frac{h_{fe}}{1 + h_{oe} R_p} \quad (15.13)$$

$$\frac{I_L}{I_C} = \frac{R_C}{R_C + R_L}$$

لذلك فان كسب التيار للمرحلة يساوي

$$\frac{R_C}{R_C + R_L} G_i \quad (15.13.1)$$

V_{ce} يساوي $-I_C R_p$ (ان الاشارة سالبة نظراً لأن قطبية التيار قد أخذت باتجاه الباعث الى المجمع)

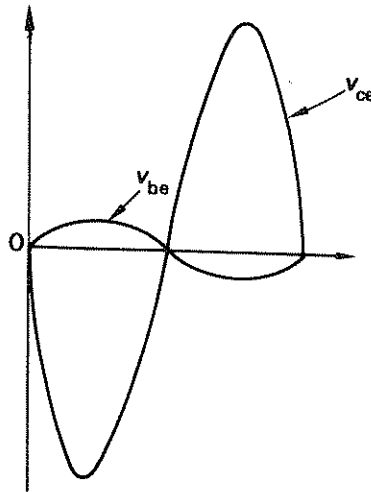
$$V_{be} = I_b h_{ie}$$

كما ان كسب الفولتية G_v للترانزستريساوي

$$\frac{V_{ce}}{V_{be}} = \frac{-I_C R_p}{I_b h_{ie}}$$

$$G_v = \frac{-h_{fe} R_p}{h_{ie}(1 + h_{oe} R_p)} \quad (15.14)$$

ونظراً لأن نفس الفولتية تظهر عبر الحمل كما تظهر عبر طرفي اخراج الترانزسترفانه يتبع ان كسب الفولتية للمرحلة مطابق لكسب الترانزستري. اما الاشارة السالبة في المعادلة (15.14) فتبين أن هناك ازاحة طور مقدارها 180° بين V_{ce} و V_{be} كما مبين في الشكل 19.15 .



شكل 19.15 مخطط شكل الموجة بين V_{ce} و V_{be}

ان كسب القدرة في الترانزستور :

$$\frac{V_{ce} I_c}{V_{be} I_b} = \frac{R_p \text{ قدرة الإشارة في } R_p}{\text{قدرة الإشارة المغددة الى الترانزستور}} = G_p$$

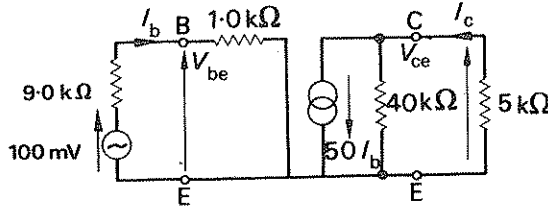
(بالمقادير) $G_i G_v =$

$$\therefore G_p = \frac{h_{fe}^2 R_p^2}{h_{ie}(1 + h_{oe} R_p)^2} \quad (15.15)$$

مثال (2.15) ترانزستور يحوي البارامترات الهجينية للإشارة الصغيرة كما يلي :

$$h_{ie} = 1.0 \text{ k}\Omega, h_{fe} = 50, h_{oe} = 25 \mu\text{S} \text{ and } h_{re} = 0.$$

يمكن اعتبار الحمل الكلي المكافئ المربوط بين المجمع والباعث يساوي مقاوم مقداره 5 كيلو أوم كما يمكن اعتبار الإشارة المجهزة من المصدر لـ ق. د. ك. تساوي 100 ملي فولت على التوالي مع مقاومة مقدارها 9 كيلو أوم . اوجد كسب التيار والفولتية والقدرة للترانزستور وإشارة القدرة المغددة للحمل . اهمل تأثير مركبات الانحياز ومفاعلات متسعات الاقتران .



شكل 20.15 جزء من المثال 2.15

يبين الشكل 20.15 الدائرة المكافئة .

$$\frac{1}{h_{oe}} = \frac{1}{25 \times 10^{-6}} = 4 \times 10^4 \Omega = 40 \text{ k}\Omega$$

$$I_c = \frac{40}{40 + 5} \times 50 I_b$$

$$G_i = \frac{I_c}{I_b} = \frac{40 \times 50}{45} = 44.4$$

$$G_v = \frac{V_{cb}}{V_{eb}} = \frac{-I_c \times 5.0}{I_b \times 1.0} = -44.4 \times 5 = -222$$

$$G_p = G_i G_v = 44.4 \times 222 = 9860$$

$$I_b = \frac{100}{9.0 + 1.0} = 10 \mu\text{A}$$

$$\therefore I_c = 44.4 \times 10 = 444 \mu\text{A}$$

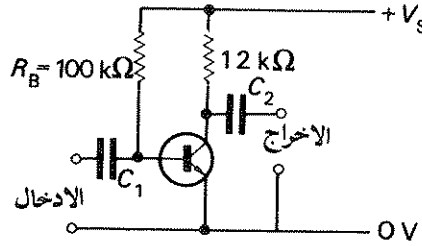
قدرة الإشارة المغذاة للحمل

$$= (4.44 \times 10^{-4})^2 \times 5 \times 10^3$$

$$= 9.85 \times 10^{-4} \text{ W} = \underline{0.985 \text{ mW}}$$

مثال (3.15) الترانزستور المستخدم في الدائرة المبينة في الشكل 21.15 يحوي بارامترات الإشارة الصغيرة المبينة أدناه

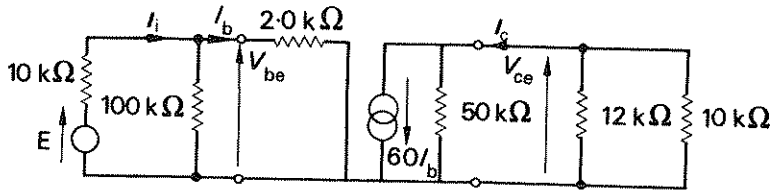
$h_{ie} = 2.0 \text{ k}\Omega$, $h_{fe} = 60$, $h_{oe} = 20 \mu\text{s}$ و h_{re} مهملة



شكل 21.15 دائرة المثال 3.15

تجهز إشارة الادخال من مصدر ل. د . ك . E على التوالي مع مقاومة مقدارها 10 كيلو أوم . أوجد القيمة اللازمة ل E لكي تعطي إشارة قدرة مقدارها 10 ملي واط في حمل مقاومي مقداره 10 كيلو أوم مربوط عبر طرفي الاخراج . اهمل مفاعلات متسعتي الاقتران .

يبين الشكل 22.15 الدائرة المكافئة .



شكل 22.15 جزء من المثال 3.15

$$\frac{1}{h_{oe}} = \frac{1}{20 \times 10^{-6}} = 5 \times 10^4 \Omega = 50 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{V_{ce}^2}{10} = 10 \quad \therefore V_{ce} = 10 \text{ V}$$

$$\therefore I_c = \frac{10}{\frac{12 \times 10}{12 + 10}} = \frac{10 \times 22}{120} = 1.83 \text{ mA}$$

$$1.83 = \frac{10}{50} + 60 I_b$$

$$\therefore I_b = \frac{1.63}{60} = 0.027 \text{ mA}$$

$$\therefore V_{be} = 0.027 \times 2.0 = 0.054 \text{ V}$$

لذلك فان تيار الادخال للمرحلة يساوي

$$= I_i = 0.027 + \frac{0.054}{100}$$

$$= 0.028 \text{ mA}$$

$$E = 0.028 \times 10 + 0.054$$

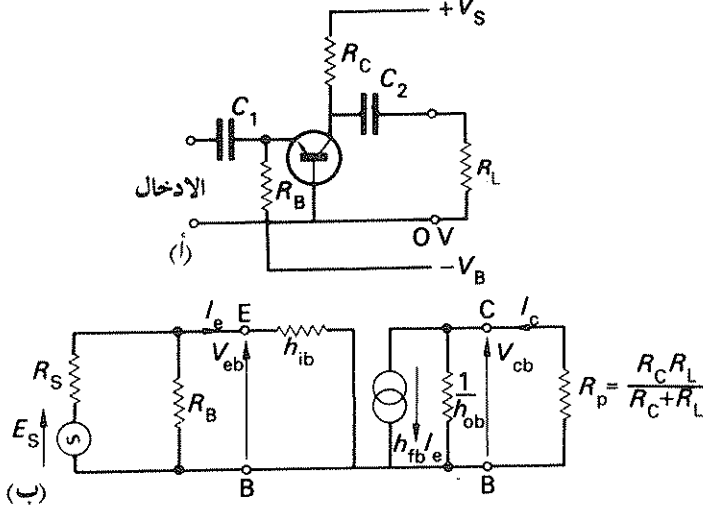
$$= 0.334 \text{ V}$$

وبنفس الطريقة يمكن اشتقاق مجموعة من البارامترات المهجينة للاشارة الصغيرة لوضعية القاعدة المشتركة حيث تكون المعادلات العائدة لذلك كما يلي :

$$V_{eb} = h_{ib} I_e + h_{rb} V_{cb} \quad (15.16)$$

$$I_c = h_{fb} I_e + h_{ob} V_{cb} \quad (15.17)$$

ان البارامترات المهجينة في هذه الحالة لها نفس التأثير كذلك العائدة لوضعية الباعث المشترك . وقد استخدم الرمز b للاشارة الى وضعية القاعدة المشتركة . ان المقدار $h_{rb} V_{cb}$ يكون صغيراً بالمقارنة مع V_{eb} نظراً لأن h_{rb} صغير جداً (بحدود 5×10^{-4}) . لذلك يمكن تبسيط الدائرة المكافئة بطريقة مشابهة لتلك المستخدمة في وضعية الباعث المشترك . وبين الشكل 23.15 مرحلة نموذجية لمضخم مشترك القاعدة مع الدائرة المكافئة له .



شكل 23.15 (أ) مرحلة مضخم القاعدة المشتركة

(ب) الدائرة المكافئة لـ (أ)

ان المقادير للكسب تكون مطابقة لتلك التي اشتقت من وضعية الباعث المشترك بعد التعويض بالبارامترات المناسبة

$$G_i = \frac{I_c}{I_e} = \frac{h_{fb}}{1 + h_{ob} R_P} \quad (15.18)$$

$$G_v = \frac{V_{cb}}{V_{eb}} = \frac{-h_{fb} R_P}{h_{ib}(1 + h_{ob} R_P)} \quad (15.19)$$

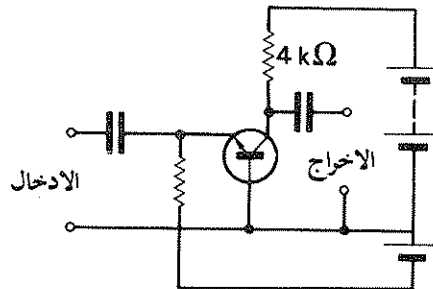
$$G_p = G_i G_v = \frac{h_{fb}^2 R_P}{h_{ib}(1 + h_{ob} R_P)^2} \quad (15.20)$$

ان قيمة h_{fb} تكون أقل من الواحد (0.98 مثلاً) وتكون سالبة أي أن أي زيادة في تيار الباعث بالاتجاه المبين تنتج زيادة في تيار المجمع بعكس اتجاه التيار المبين وهذا يعني ان كسب التيار يكون أقل من الواحد وان هناك ازاحة طور مقدارها 180° بين I_c و I_e بالقطبيات المبينة وازاحة طور مقدارها صفر بين V_{cb} , V_{eb}

مثال (4.15) الترانزستور المستخدم في دائرة القاعدة المشتركة المبينة في شكل 24.15 له بارامترات الاشارة الصغيرة التالية :

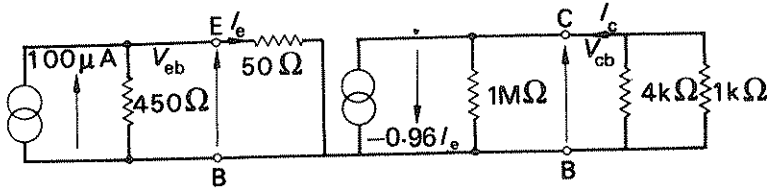
$$h_{ib} = 50 \Omega, h_{fb} = -0.96, h_{ob} = 1.0 \mu S \text{ و } h_{rb} \text{ مهمة}$$

يمكن اعتبار مصدر الاشارة كمولد تيار ثابت مقداره 100 ميكرو أمبير وذو مقاومة داخلية مقدارها 450 أوم . احسب كسب الفولتية والقدرة للمرحلة عند ربط حمل مقاومي مقداره 1 كيلو أوم عبر طرفي الاخراج . اهمل تأثير مقاوم الانحياز ومفاعلتى متسعتي الاقتران .



شكل 24.15 دائرة المثال 4.15

بين الشكل 25-15 الدائرة المكافئة .



شكل 25-15 جزء من المثال 4-15

$$\frac{1}{h_{ob}} = \frac{1}{10^{-6}} = 10^6 \Omega = 1 \text{ M}\Omega$$

لذلك فان تأثير $1/h_{ob}$ يكون مهملا بالمقارنة مع الـ 4 كيلو أوم على التوازي مع الكيلو أوم واحد .

$$I_c = \frac{450}{450 + 50} \times 100 = 90 \mu\text{A}$$

$$V_{eb} = 0.09 \times 50 = 4.5 \text{ mV}$$

$$I_c = -0.96 \times 90 = -86 \mu\text{A}$$

$$V_{cb} = -(-86) \times \frac{4.0 \times 1.0}{4.0 + 1.0} = 69 \text{ mV}$$

$$\therefore G_v = \frac{69}{4.5} = \underline{\underline{15}}$$

$$4.8 \mu\text{W} = 4.8 \times 10^{-6} \text{ W} = \frac{(69 \times 10^{-3})^2}{10^3} = \text{قدرة الإشارة في الحمل}$$

$$0.41 \mu\text{W} = 4.1 \times 10^{-7} \text{ W} = (90 \times 10^{-6})^2 \times 50 = \text{قدرة الإشارة في المرحلة}$$

$$\underline{\underline{12}} = \frac{4.8}{0.41} = (G_p) \text{ كسب القدرة}$$

ملاحظة ان كسب القدرة للترانزستريساوي $14.4 = 15 \times 0.96 =$

ان مجموعات أخرى من البارامترات ومن ثم اشكال مختلفة للدوائر المكافئة يمكن اشتقاقها باستبدال المتغيرات المعتمدة وغير المعتمدة بعضها محل البعض ، فمثلاً اذا فرضنا ان تيارات الادخال والايخراج هي متغيرات غير معتمدة وفولتيات الادخال والايخراج متغيرات معتمدة فانه لوضعية الباعث المشترك يمكن تمثيل مميزات الترانزستركما يلي :

$$v_{BE} = f_1(i_B, i_C)$$

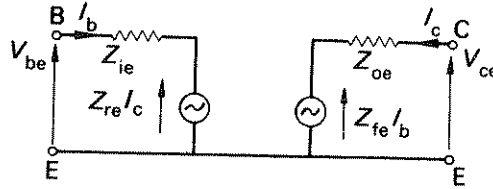
$$v_{CE} = f_2(i_B, i_C)$$

لذلك فلمتغيرات جيبية صغيرة هذه الكميات

$$V_{be} = z_{ie} I_b + z_{re} I_c \quad (15.21)$$

$$V_{ce} = z_{fe} I_b + z_{oe} I_c \quad (15.22)$$

تعرف هذه البارامترات ببارامترات ممانعة الدائرة المفتوحة نظراً لأنها تعرف إما بطرفي الإدخال والايخراج عند فتح الدائرة (اي اما $I_b = 0$ صفراً او $I_c = 0$ صفراً) . وتكون كلها ذات وحدة ممانعة . ويمكن تقريبها في الترددات الواطئة الى مقاومات بحتة . ويبين الشكل 26.15 دائرة مكافئة معتمدة على العلاقتين (15.21) و (15.22) . يمكن كتابة العلاقتين (15.21) و (15.22) للترددات الواطئة



شكل 26.15 الدائرة المكافئة مستندة الى البارامترات Z

$$V_{be} = r_{ie} I_b + r_{re} I_c \quad (15.21)$$

$$V_{ce} = r_{fe} I_b + r_{oe} I_c \quad (15.22)$$

وبشكل مشابه لوضعية القاعدة المشتركة

$$V_{eb} = r_{ib} I_e + r_{rb} I_c \quad (15.23)$$

$$V_{cb} = r_{fb} I_e + r_{ob} I_c \quad (15.24)$$

وبإضافة وطرح $r_{rb} I_e$ الى العلاقة (15.23) ينتج

$$\begin{aligned} V_{eb} &= r_{ib} I_e + r_{rb} I_c + r_{rb} I_e - r_{rb} I_e \\ V_{eb} &= (r_{ib} - r_{rb}) I_e + r_{rb} (I_e + I_c) \end{aligned} \quad (15.25)$$

وبشكل مشابه عند اضافة وطرح $r_{rb} I_e$ و $r_{rb} I_c$ الى العلاقة (15.24) ينتج

$$\begin{aligned} V_{cb} &= r_{fb} I_e + r_{ob} I_c + r_{rb} I_e - r_{rb} I_e + r_{rb} I_c - r_{rb} I_c \\ V_{cb} &= (r_{fb} - r_{rb}) I_e + (r_{ob} - r_{rb}) I_c + r_{rb} (I_e + I_c) \end{aligned} \quad (15.26)$$

$r_{rb} - r_{ib} = r_c =$ لنفرض ان مقاومة الباعث
 $r_{rb} = r_b =$ مقاومة القاعدة
 $r_{rb} - r_{fb} = r_m =$ المقاومة التبادلية
 $r_{rb} - r_{ob} = r_c =$ ومقاومة المجموع
 لذلك يمكن كتابة العلاقاتين (15-25) و (15-26) كما يلي :

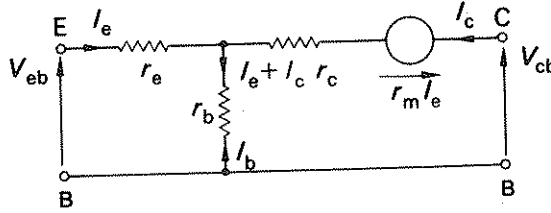
$$(15.27)$$

$$V_{eb} = r_e I_e + r_b(I_e + I_c)$$

$$(15.28)$$

$$V_{cb} = r_m I_e + r_c I_c + r_b(I_e + I_c)$$

باستخدام العلاقاتين (15-27) و (15-28) يتسج دائرة مكافئة تحتوي على مولد واحد فقط كما مبين في شكل 27-15 والتي تعرف بالدائرة المكافئة على شكل T لوضعية القاعدة المشتركة والتي تكون ذات فائدة لأيضاح الصورة الفيزيائية للترانزستور.



شكل 27-15 دائرة T - المكافئة لوضعية القاعدة المشتركة (نوع الفولتية الثابتة)

1-4-15 تسي باراميتير (Γ - parameters)

من المحتمل ان لا يحتاج الطالب القاريء الاشتقاق كاملاً ويمكنه ان يتقبل الدائرة المكافئة على شكل T المبينة في شكل 27-15 . ففي هذه الحالة يحتاج الى تطبيق قانون كرشوف الثاني على دوائر الشبكة للحصول على العلاقاتين (15-27) و (15-28) فاذا كان طرفا الاخراج موصلين بدورة قصر فان V_{cb} تساوي صفراً . من العلاقة (15-28)

$$0 = r_m I_e + r_c I_c + r_b(I_e + I_c)$$

يعرف كسب تيار دورة القصر في القاعدة المشتركة والذي يرمز له عادة بالرمز α في الدائرة المكافئة على شكل T ، بانه النسبة بين مقدارتي I_c و I_e عند توصيل طرفي الاخراج بدورة قصر ، لذلك :

$$\alpha = \left| \frac{I_c}{I_e} \right| \rightarrow \frac{r_m + r_b}{r_c + r_b} \quad (15.29)$$

من الناحية العملية يكون r_m اكبر بكثير من r_b و r_c اكبر بكثير من r_b

$$\therefore \alpha \doteq \frac{r_m}{r_c}$$

$$\text{i.e. } r_m \doteq \alpha r_c \quad (15.30)$$

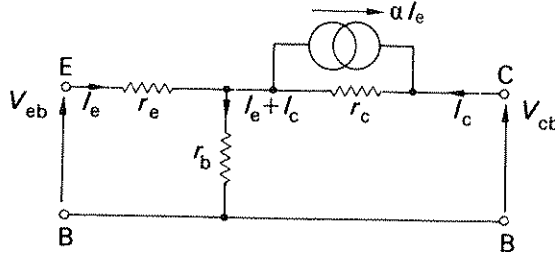
ونظراً لأن α ذات قيمة تقارب 0.98 فإنه يتج

$$r_m \doteq r_c$$

ان الدائرة المكافئة على شكل T المبينة في الشكل 27.15 يمكن تحويلها الى صيغة ثابت التيار بتبديل الفرع المحتوي على مولد فولتية . وهذا يعطي مولد تيار قيمته

$$\frac{r_m I_e}{r_c} = \alpha I_e$$

ان الدائرة مبينة في الشكل 28.15



شكل 28.15 دائرة T-المكافئة لوضعية القاعدة المشتركة (نوع التيار الناقص)

يوضح المثال ادناه استخدام دائرة مكافئة بشكل T لمضخم مشترك القاعدة .

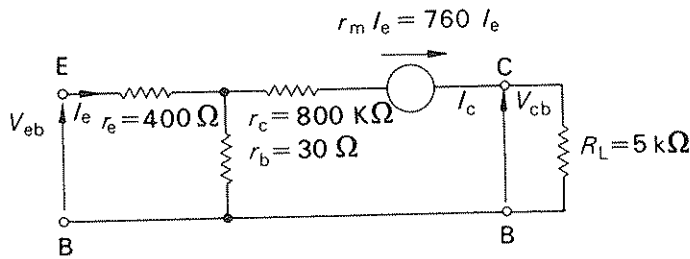
مثال (5.15) توازنستريحيوي البارامترات التالية :

$$r_b = 30 \Omega, r_e = 400 \Omega, r_c = 800 \text{ k}\Omega \text{ and } \alpha = 0.95.$$

استخدم في وضعية قاعدة مشتركة مع حمل فعلي بين المجمع والقاعدة مقداره 5000 اوم . اوجد كسب التيار والفولتية والقدرة .

$$r_m = 0.95 \times 800 = 760 \text{ k}\Omega$$

ان الدائرة المكافئة مبينة في شكل 29.15



شكل 29-15 جزء من المثال 5.15

$$V_{eb} = I_e \times 0.4 + (I_e + I_c) 0.03$$

$$\therefore V_{eb} = 0.43 I_e + 0.03 I_c \quad [1]$$

$$760 I_e = -I_c \times 5.0 - (I_c + I_e) 0.03 - I_c 800$$

$$\therefore 760 I_e = -805 I_c \quad [2]$$

$$G_i = \frac{I_c}{I_b} = -\frac{760}{805} = -0.94$$

لاحظ انه ليس هناك فرق واضح بين كسب التيار وكسب تيار دورة القصر ، وذلك نظراً لان مقاومة الحمل R_L صغيرة جداً بالمقارنة مع r_c . ونظراً لان قيمة r_c المتضمنة عالية ، فان ذلك يكون صحيحاً لمعظم الدوائر العملية .

$$\text{من [1]} \quad V_{cb} = 0.43 \left(-\frac{I_c}{0.94} \right) + 0.03 I_c$$

$$= -0.46 I_c + 0.03 I_c$$

$$= -0.43 I_c$$

$$V_{cb} = -I_c \times 5.0 = - \left(-\frac{V_{eb}}{0.43} \right) 5.0$$

$$G_v = \frac{V_{cb}}{V_{eb}} = \frac{5.0}{0.43} = 12$$

لاحظ ان القيمة المحسوبة لكسب الفولتية تكون موجبة مما يبين ان V_{cb} تكون متحدة الطور مع V_{eb}

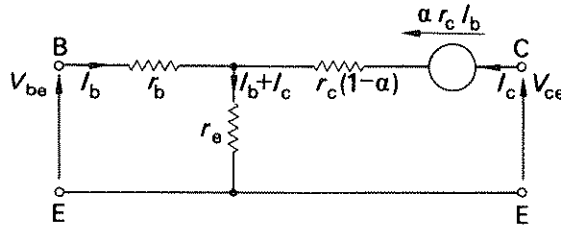
$$G_p = \frac{V_{cb} I_c}{V_{eb} I_e} = G_v G_i = 12 \times 0.94 = \underline{11.3}$$

ان الدائرة المكافئة بشكل T للتشغيل مشترك القاعدة ، يمكن تحويلها لتشغيل مشترك الباعث كما يلي :

من الشكل 27-15

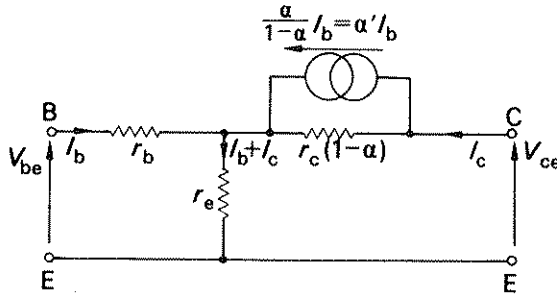
$$\begin{aligned} I_e &= -(I_b + I_c) \\ r_m I_e &= -\alpha r_c (I_b + I_c) \\ &= -\alpha r_c I_b - \alpha r_c I_c \end{aligned}$$

لذلك فان مولد الفولتية $r_m I_e$ يمكن الاستعاضة عنه بمولد فولتية اخر $-\alpha r_c I_b$ والذي يكون مناسباً أكثر من الاول نظراً لأن I_b هو الان تيار الادخال مع هبوط فولتية اضافي مقداره $-\alpha r_c I_b$. وهذا يعطي دائرة مكافئة بشكل T كما مبين في شكل 30-15 .



شكل 30-15 دائرة T-المكافئة لوضعية الباعث المشترك (نوع الفولتية الثابتة)

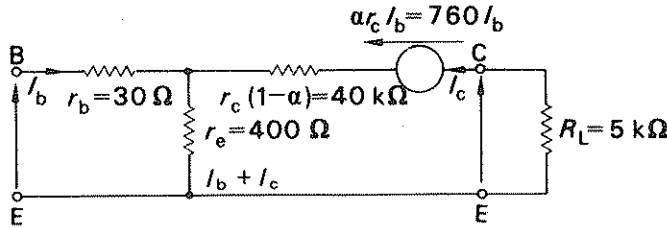
كما مبين الشكل 31-15 وضعية ثابت التيار.



شكل 31-15 دائرة T-المكافئة لوضعية الباعث المشترك (نوع التيار الثابت)

مثال (6-15) استخدم التوازنستر الموصوف في المثال 5-15 في وضعية مشتركة الباعث مع حمل فعال مقداره 5000 اوم بين المجمع والباعث . احسب كسب التيار والفولتية والقدرة .

$$r_c(1 - \alpha) = 800(1 - 0.95) = 40 \text{ k}\Omega$$



شكل 32-15 جزء من المثال 6.15

بين الشكل 32-15 الدائرة المكافئة

$$V_{be} = I_b \times 0.03 + (I_b + I_c) 0.4$$

$$V_{be} = 0.43 I_b + 0.4 I_c \quad [1]$$

$$760 I_b = I_c \times 40 + (I_b + I_c) 0.4 + I_c \times 5.0$$

$$\therefore 760 I_b = 45.4 I_c \quad [2]$$

$$\therefore G_i = \frac{I_c}{I_b} = \frac{760}{45.4} = 17$$

لاحظ انه يمكن الحصول على كسب للتيار أكبر من الواحد

من [1]

$$V_{be} = 0.43 \times \frac{I_c}{17} + 0.4 I_c$$

$$= 0.02 I_c + 0.4 I_c = 0.42 I_c$$

$$V_{ce} = -I_c \times 5.0 = -\frac{V_{be}}{0.42} \times 5.0$$

$$G_v = \frac{V_{ce}}{V_{be}} = -\frac{5.0}{0.42} = -12$$

لاحظ ان هناك ازاحة طور بين V_{ce} و V_{be} بمقدار 180

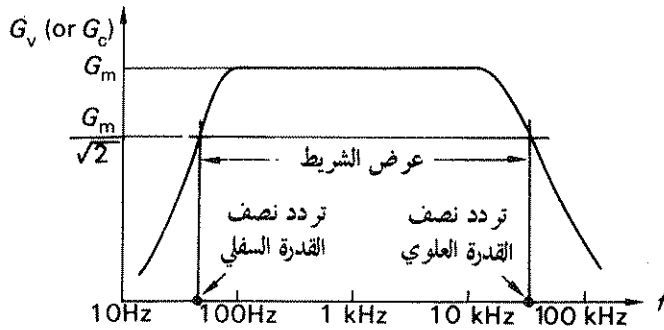
$$G_p = \frac{V_{ce} \times I_c}{V_{be} \times I_b} = A_v \times A_c = 12 \times 17 = 204$$

ان كسب القدرة الكبير الذي حصلنا عليه في وضعية الباعث المشترك هو أحد الاسباب الرئيسية لاستخدام هذه الوضعية بكثرة في النواحي العملية .

5-15 الاستجابة (Response) للتردد العالي والواطيء

في التحليل السابق أهملنا ممانعتي متسعتي الاقتران، الا ان هناك ترددات يكون فيها هبوط الفولتية عبر هذه المتسعات ملموساً ، مما ينتج نقصاناً في اشارة الفولتية عبر الحمل وذلك ينتج خسارة في الكسب . كما ان هناك خسارة في الكسب أيضاً في الترددات العالية وذلك يعود الى السببين الرئيسيين التاليين :

اولهما : وجود نقصان في h_{fe} في الترددات العالية نتيجة زمن انتقال الحاملات في حيز القاعدة والذي يكون متقارباً مع فترة الاشارة . وثانيهما وجود متسعات شاردة (stray Capacitances) على التوازي عبر الحمل مما يقلل من الحمل التأثيري عبر الترانزستري في الترددات العالية . يبين الشكل 3.3-15 مميزات نموذجية للكسب مع التردد لمرحلة مضخم ترانزستري . لاحظ بأن مقياس التردد يكون لوغاريتمياً . كما يلاحظ ان هناك مدى عريضاً للترددات التي يبقى فيها الكسب بالضرورة ثابتاً . ان الفرق في التردد بين التردد اللذين يكون الكسب فيهما قد انخفض بمقدار $1/2$ من تلك القيمة الثابتة يعرف بعرض شريط (Bandwidth) المرحلة . كما يعرف الترددان بأنهما ترددان نصف القدرة الواطيء والعالي نظراً لأن قدرة الحمل فيهما تنخفض الى نصف قدرة الاشارة في ترددات الشريط الوسطي عند ثبوت اتساع اشارة الادخال .



شكل 3.3-15 مميزات الكسب/التردد

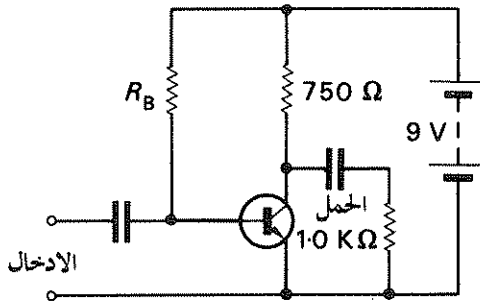
مسائل على دوائر الترانزستور

1. ترانزستور س-م-س- يمكن اعتباره ممیزاته خطية بين الحدين المبينين في الجدول . استخدم في دائرة مضخم وقد ربط مقاوم مقداره 2 كيلو أوم بين المجمع والطرف الموجب لمصدر التيار المستمر ذي 9 فولت . كما ربط الباعث مباشرة الى الطرف السالب . اذا كان تيار القاعدة الساكن يساوي 40 ميكروأمبير ، أوجد الفولتية الساكنة بين المجمع والباعث والتيار الساكن للمجمع . عند تسليط إشارة على الدائرة تغير تيار القاعدة جيبياً مع الزمن ، وكانت المركبة المتناوبة العظمى تساوي 20 ميكروأمبير . اوجد المركبة المتناوبة لتيار المجمع ثم أوجد كسب تيار المرحلة . يمكن اعتبار الحمل عبر طرفي اخراج الدائرة عالي جداً بالمقارنة مع الـ 2 كيلو أوم .

4.6 V; 1.9 mA; 0.9 mA; 45

I_c mA	$I_b = 60 \mu A$		$I_b = 40 \mu A$		$I_b = 20 \mu A$	
	$V_{ce} = 1 V$	$V_{ce} = 10 V$	$V_{ce} = 1 V$	$V_{ce} = 10 V$	$V_{ce} = 1 V$	$V_{ce} = 10 V$
	2.7	3.2	1.8	2.1	0.9	1.1

2. الترانزستور المستخدم في الدائرة المبينة في شكل 34-15 ذو مميزات يمكن اعتبارها خطية في حدود الجدول المبين . اوجد قيمة R_{\parallel} التي تعطي تياراً ساكناً في القاعدة مقداره 80 ميكروأمبير . اذا تغيرت إشارة تيار القاعدة جيبياً مع الزمن وكانت قيمة ذروتها 40 ميكروأمبير اوجد قيمة ج.م.ت. لاشارة الفولتية . عبر الحمل ثم اوجد قدرة الاشارة في الحمل . اعتبر ممانعتي متسعتي الاقتران صفراً .

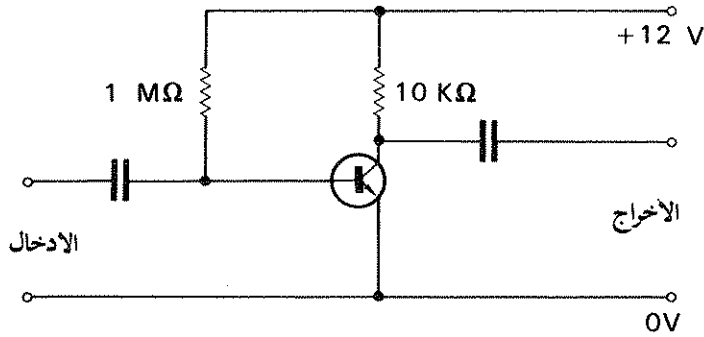


شكل 34-15

I_b (μA)	120		100		80		60		40	
V_{ce} (V)	1	12	1	12	1	12	1	12	1	12
I_c (mA)	10.8	13.4	9.0	11.2	7.2	9.0	5.3	6.7	3.7	4.5

113 k Ω ; 1.1 V; 1.2 mW

3. المميزات الخارجية لترانزستور سيليكوني نوع س-م-س والمستخدم في دائرة مضخم يمكن اعتبارها خطية وكما مبين في الجدول ادناه . كما يمكن تمثيل اشارة المصدر بمولد للتيار الثابت ذي تيار ذروته . مقدارها 24 ميكروامبير ومقاومة داخلية مقدارها 3 كيلواوم كما ان المرحلة تغذي مرحلة مماثلة لها . اوجد كسب التيار والقدره والفولتية للمرحلة . يمكن اعتبار المقاومات الداخلية للترانزسترات ثابتة وتساوي 6 كيلواوم مفاعلتا متسعتي الاقتران مهملتان .

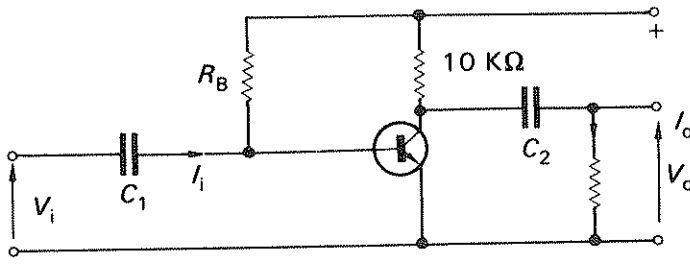


شكل 35-15 دائرة السؤال 3-15

I_b (μA)	0		4		8		12		16		20	
V_{ce} (V)	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10	1	10
I_c (mA)	0.0	0.0	0.14	0.18	0.33	0.39	0.49	0.61	0.68	0.83	0.86	1.04

30; 30; 900

4. اوجد كسب التيار (I_o/I_i) وكسب الفولتية (V_o/V_i) في دائرة لمضخم المبينة في شكل 36-15 . يمكن اعتبار تأثير R_B و C_1 و C_2 مهملًا على الحسابات ، فاذا كانت الباراميترات الهجينية للاشارة الصغيرة للترانزستور هي :
 $h_{fe} = 50$, $h_{oe} = 10 \mu S$, $h_{ie} = 5 k\Omega$, $h_{re} = 0$
 وال « تي » باراميترو كما يلي : $\alpha' = 50$, $r_c = 5.0 M\Omega$, $r_b = 5.0 k\Omega$, $r_c = 0$.



شكل 36-15

- 23-8; - 47-6

5. الباراميترات الهجينة للاشارة الصغيرة للترانزستور المستخدم في دائرة مضخم هسي

$h_{ie} = 2.0\text{ k}\Omega$, $h_{fe} = 60$, $h_{oe} = 2.0 \times 10^{-5}\text{ S}$ وأن $h_{re} = 0$.

وكان الحمل الكلي بين المجمع والباعث يساوي مقاومة مقدارها 10 كيلو اوم وقد جهز الترانزستور من مصدر اشارة ذي ق. د.ك. مقدار ج.م.ت. لها يساوي 100 ملي فولت ومقاومته الداخلية مقدارها 3 كيلو اوم. احسب كسب الفولتية والتيار والقدرة للترانزستور وقيمة الاشارة الناتجة في الحمل.

($\alpha' = 60$, $r_c = 3.12\text{ M}\Omega$, $r_b = 2.0\text{ k}\Omega$, $r_e = 0$).

50; 250; 12500; 10 mW

6. المضخم المبين في مخطط الدائرة في شكل 37-15 يغذي مرحلة مشابهة فاذا كان

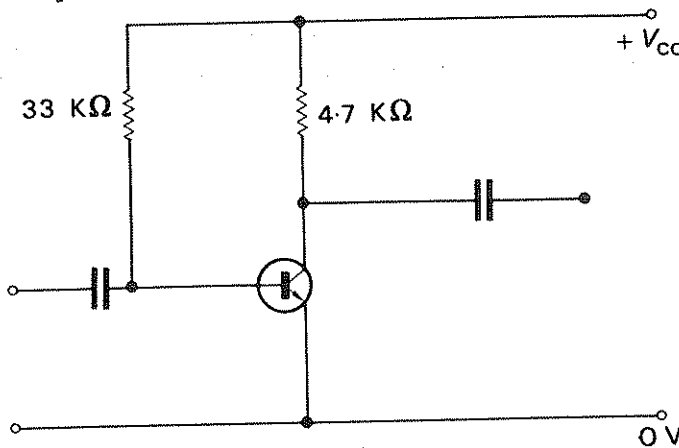
مصدر اشارة الادخال ذا مقاومة داخلية مقدارها 1 كيلو اوم. احسب كسب القدرة للمرحلة

(اي اشارة القدرة الثانية على اشارة القدرة في المرحلة الاولى) وكانت باراميترات الترانزستور

$h_{ie} = 2.5\text{ k}\Omega$, $h_{oe} = 25\text{ }\mu\text{S}$, $h_{fe} = 50$, $h_{re} = 0$.

اهمل ممانعتي متسعتي الاقتران.

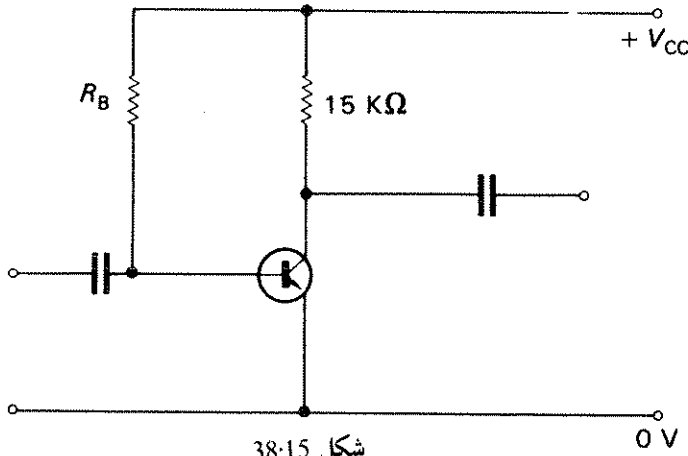
($\alpha' = 50$, $r_c = 2.0\text{ M}\Omega$, $r_b = 2.5\text{ k}\Omega$, $r_e = 0$).



شكل 37-15

7. اذا كانت اشارة الادخال للمصدر في الدائرة المبينة في شكل 38-15 يمكن تمثيلها بمولد تيار ثابت I ميكرو امبير ومقاومة داخلية مقدارها 10 كيلو اوم احسب قيمة I بحيث تكون قدرة الاشارة المقفودة في المقاوم 4 كيلو اوم المربوط عبر طرفي الاخراج يساوي 1 ملي واط . وكانت بارامترات الاشارة الصغيرة للترانزستري هي
 $h_{ie} = 2.0 \text{ k}\Omega$, $h_{fe} = 100$, $h_{oe} = 50 \mu\text{S}$ and $h_{re} = 0$.

اهمل ممانعتي متسعتي الاقتران واعتبر تيار الاشارة المسحوب من قبل R_B صغيراً جداً
 8.8 $\mu\text{A r.m.s.}$ ج.م.ت. ($\alpha' = 100$, $r_c = 2.0 \text{ M}\Omega$, $r_b = 2.0 \text{ k}\Omega$, $r_e = 0$). التي بارامترات



شكل 38-15

8. الترانزستري المستخدم في الوضعية مشتركة القاعدة يحوي البارامترات للاشارة الصغيرة كما يلي :
 اذا امكن تمثيل الاشارة الجيبية المسلطة بمصدرا ق.د.ك. ذي 30 ملي فولت ومقاومة داخلية مقدارها 75 اوم مربوطة بين الباعث والقاعدة والحمل الكلي المربوط بين المجمع والقاعدة هو مقاومة مقدارها 5 كيلو اوم . احسب قيمة فولتية الاشارة بين المجمع والقاعدة وطور الاق.د.ك. بالنسبة للمصدر وكسب القدرة للترانزستري.

(التي بارامترات $\alpha = 0.9$, $r_e = 75 \Omega$, $r_c = r_L = 0$)

(0.95 V, 0° ; 60)

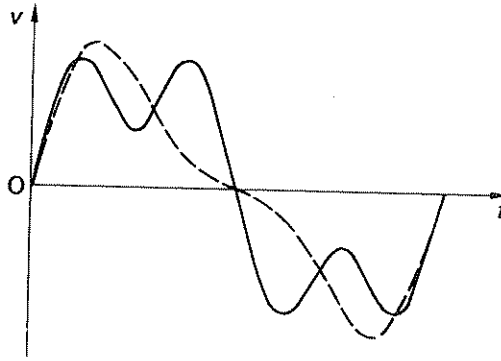
الفصل السادس عشر

النظم الإلكترونية

لقد تم في الفصل الخامس عشر استخدام الترانزسترات في المضخم .
الا ان هناك أدوات أخرى كالصمامات الترموأيونية (Thermionic valves) والترانزسترات تأثيرية المجال (field effect transistors) والتي تستخدم لتوليد كسب بأساليب مشابهة . ولغرض توضيح مثل هذه الأدوات بشكل مشابه لما تم اجراءه بالنسبة للترانزستر ، فان توسعاً كبيراً يجب أن يتم في الأسس الفيزيائية التي وردت في الفصل الثالث عشر لكي يكون فهم تشغيل الأدوات واضحاً . وبالرغم من ان ذلك لا يخلو من فوائد الا انه من الأفضل تجنب هذه الاعداء-والتركيز على طريقة النظم في تدريس الالكترونيات حيث سيعامل المضخم ككتلة (Block) تحتوي على طرفي ادخال وطرفي اخراج دون أن يتضمن ذلك أي توضيح او ربما سيتضمن توضيحاً بسيطاً حول محتويات هذه الكتلة . ويخصص كل الوقت المتوفر لدراسة مميزاتهما . ان الاكتشاف والاستخدام الكبير للدوائر المتكاملة (integrated circuits) والتي تتضمن المكونات الالكترونية على قطعة صغيرة من السيليكون ، قد زاد من أهمية طريقة النظم ، نظراً لأن تصميم الدوائر لا يتبع تماماً الاساليب المستخدمة في المكونات المنفصلة (Discrete components) هذا علماً بأنه ليس من الضروري معرفة تفاصيل الدائرة الدقيقة للتمكن من استخدامها في النظم الالكترونية . لذلك فان هذا الفصل هو مقدمة لطريقة النظم في تدريس الالكترونيات ، وهو فصل متكامل ولا يحتاج الرجوع الى نظرية الترانزسترات ذات القطبين ، كما يمكن اعتباره كطريقة ثانية لمقدمة الالكترونيات .

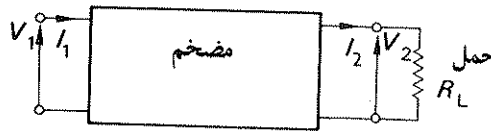
1-16 مبادئ المضخم الأساسية

ان الغرض من مضخم ما هو توليد كسب او بكلمة أخرى سيطرة قدرة اشارة ادخال صغيرة على قدرة اشارة اخراج اكبر ، وهناك ادوات لاتدعى مضخمات عادة ولكنها تدخل ضمن هذا التعريف . فمثلاً المرسل يحتاج الى قدرة لغلق تلامساته تكون أصغر من تلك المتضمنة في دائرة التلامس التي تفتح او تغلق احياناً ، وكمثال آخر فان مولد التيار المستمر المتناثر منفصلاً والذي يعمل بسرعة ثابتة نجد ان القدرة فيه تغذى الى الحمل المربوط عبر طرفي الاخراج ويمكن السيطرة عليها بقدرة أصغر الى لفائف المجال .. في المضخم من النوع تحت الدراسة هنا ، هناك خاصية اخرى يجب أن يتصف بها المضخم ، الا وهي المحافظة على شكل موجة فولتية او تيار اشارة الادخال لدرجة عالية من الدقة نسبياً في اشارة الاخراج ،



شكل 1-16 اشارة شكل الموجة

نظراً لأن شكل الموجة يحمل بعض المعلومات الممثلة بالاشارة . ويتضح ذلك بمقارنة اشارتين تمثلان نفس النغمة عند استخدامها على آلات موسيقية مختلفة حيث يحويان على نفس التردد الاساسي الممثل للخطوة ، الا انهما يختلفان في أشكال الموجة والتي تمثل نغمات مختلفة وذلك كما موضح في الشكل 1-16 .



شكل 2-16 مخطط كتلي للمضخم

يبين الشكل 2-16 مضخماً مع حمل مقاومي R_L مربوط عبر طرفي الاخراج . ويمكن تعريف البارامترات الاساسية للمضخم كما يلي :

$$\text{كسب الفولتية } (G_v) = \frac{\text{فولتية اشارة الاخراج}}{\text{فولتية اشارة الادخال}}$$

$$G_v = \frac{V_2}{V_1} \quad (16.1)$$

$$\frac{\text{تيار إشارة الإخراج}}{\text{تيار إشارة الإدخال}} = \text{كسب التيار } (G_c)$$

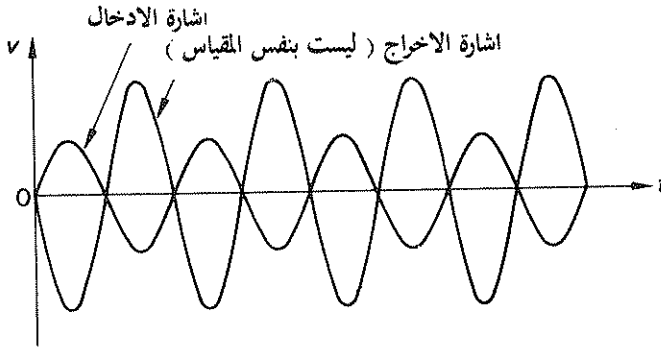
$$G_c = \frac{I_2}{I_1} \quad (16.2)$$

$$\frac{\text{قدرة إشارة الإخراج}}{\text{قدرة إشارة الإدخال}} = \text{كسب القدرة } (G_p)$$

$$G_p = \frac{V_2 \times I_2}{V_1 \times I_1} \quad (16.3)$$

$$G_p = G_v G_c$$

يبين الشكل 3-16 أشكال موجة نموذجية حيث يفترض في الإشارات أنها تتغير جيبياً مع الزمن .



شكل 3-16 أشكال موجة إشارة مضخم

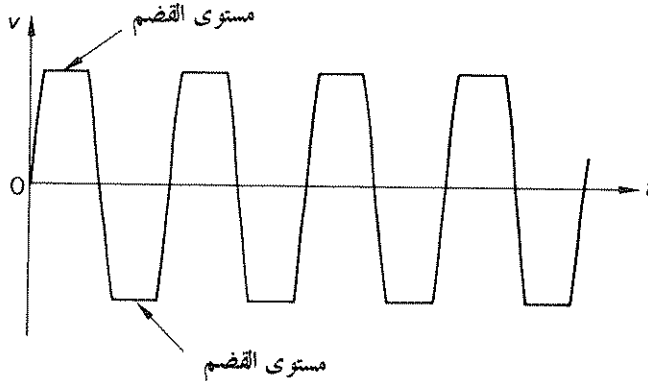
إلا أن أشكال الموجات التي تصادف عملياً تكون أكثر تعقيداً كما مرفى في الشكل 1-16 . ولكن بالإمكان تبين أن مثل هذه الموجات تتكون من موجات جيبية تردداتها هي مضاعفات تامة للتردد الأساسي . وتعرف هذه الموجات الجيبية بالتوافقيات (Harmonics) . لذلك فإن استخدام الموجات الجيبية في تحليل وفحص المضخمات له ما يبرره . من التمكن في أشكال الموجات المبينة في شكل 3-16 ، تبين أن فولتية إشارة الإخراج مزاحة بـ 180° في الطور عن فولتية إشارة الإدخال . ويعرف مثل هذا المضخم بعكس الطور (phase-inverting) .

ويكون الكسب المعرف وفق العلاقة (16-1) سالباً . ان مثل هذه المضخمات شائعة جداً من الناحية العملية بالرغم من ان الانواع غير العاكسة والتي تكون فيها اشارات الاخراج والادخال في نفس الطور مستعملة هي الاخرى أيضاً . كما ان هناك بعض المضخمات التي تحتوي على مداخل مختلفة للتشغيل مع التعاكس او بدونه .

لقد أخذنا بنظر الاعتبار لحد الآن في تشغيل المضخم اشارتي الادخال والايخراج فقط . الا انه من الضروري تجهيز مصدر للقدره يمكن الحصول منه على قدرة اشارة الاخراج المغذاة الى الحمل ، والتي يمكن السيطرة عليها بواسطة اتساع اشارة الادخال . ان المصدر نفسه يجب ان يكون مصدراً للتيار المستمر كما يمكن ان يكون بطارية جافة او مصدر مقوم . كما مر وصفه في الفصل 14 . ان اتساع فولتية المصدر هذا يعتمد على نوع الاداة المستخدمة في المضخم . فمثلاً تحتاج الصمامات الترموأيونية الى بضع مئات من الفولتات بينما تحتاج الترانزسترات الى فولتية تكون عادة بين 6-30 فولت .

ان مدى الفولتية الذي يمكن أن تتغير ضمنه فولتية اشارة الاخراج يكون محدداً . ويعتمد كثيراً على قيمة فولتية التجهيز . وهذا يعني ان هناك قيمة عظمى لاشارة الادخال التي تنتج اشارة اخراج ذات شكل موجة مشابهة لها لحد معقول . ان زيادة اشارة الادخال فوق هذا الحد تنتج قضمًا (clipping) في شكل موجة اشارة الادخال ، كما هو موضح في شكل 4-16 بالرغم من ان مستويات القضم لا تكون بالضرورة متماثلة حول مستوى الصفر .

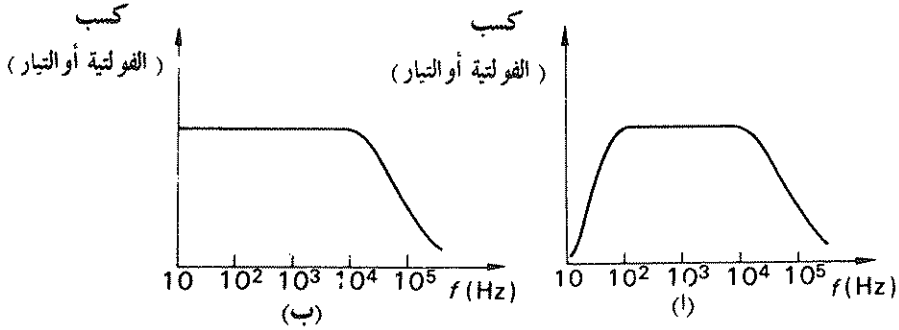
من فحص كسب المضخم تبين أنه لا يبقى ثابتاً مع تردد اشارة الادخال . فان بعض المضخمات تظهر نقصاناً في التضخم في كل من الترددات العالية والواطئة . بينما تظهر مضخمات أخرى نقصاناً عند الترددات العالية فقط . وفي كلا الحالتين هناك مدى واسع من الترددات التي يبقى الكسب فيها ثابتاً .



شكل 4-16 قضم شكل موجة اشارة الاخراج

ان هذا المدى من الترددات هو المدى الذي تصمم به المضخمات لكي تعمل اعتيادياً . ان تأثير عدم تساوي الكسب ينتج شكلاً اخر من تشوه شكل الموجة نظراً لان التوافقية الموجودة في شكل موجة اشارة الادخال المعقدة لا تتضخم بنفس الكمية . يبين الشكل 5-16 مميزات نموذجية للتضخيم مع التردد .

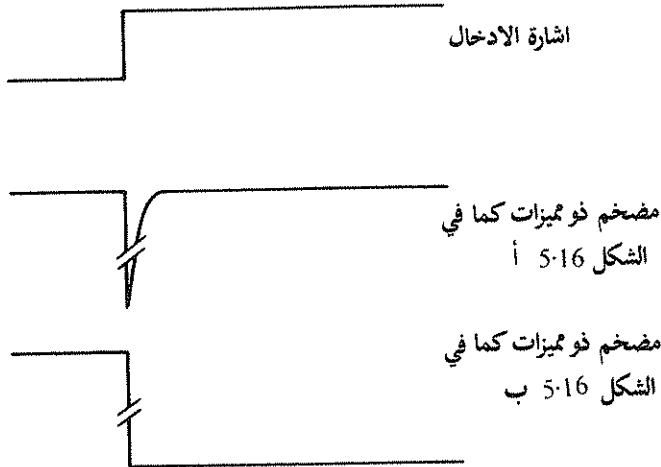
5-16 ب هي أنها تتحمل تضخيم اشارات واطنة جدا والتي تصادف في كثير من التطبيقات الصناعية ، حيث يلاحظ ان مقياس الرسم للتردد لوغارتمي . ان فائدة المضخم ذي المميزات المبينة في الشكل



شكل 5-16 مميزات كسب التردد

(أ) مضخم مقترن بسعة (ب) مضخم مباشر الاقتران

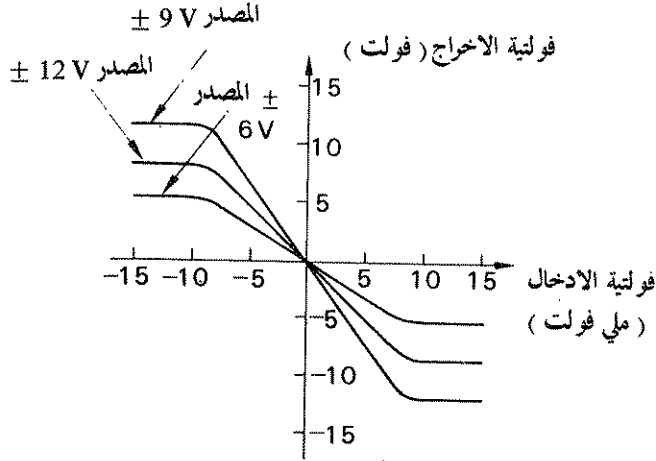
من المعروف أن المضخم المباشر الاقتران (Direct-coupled Amplifier) ومضخمات الدائرة المتكاملة تكون من هذا النوع . يبين الشكل 6-16 الاستجابة التي نحصل عليها من كل من نوعي



شكل 6-16 استجابته لتغيير درجي (step)

المضخمات لاشارة الادخال تغيير فجائياً من احد المستويات الى مستوى آخر . ان القلة في الكسب عند الترددات الواطنة للنوع الاول يمنع اعادة انتاج الاجزاء المستقرة من اشارة الادخال بشكل سليم ، حيث تكون اشارة الاخراج عبارة عن ومضة (Blip) عندما تتغير اشارة الادخال من مستوى الى اخر . ان المميزات التي تبين فولتية الاخراج مع فولتية الادخال لعدد من فولتيات تجهيز التيار المستمر مبينة

في شكل 7.16 وهي تمثل المضخمات مباشرة الاقتران ذات الدائرة المتكاملة . وان تغير فولتية الاخراج على كل من طرفي فولتية الصفر يمكن الحصول عليه باستخدام فولتيات تجهيز قدرة اكبر وأصغر من الصفر ، فمثلاً $-12, +12$ فولت بالمقارنة مع $+24$ و صفر فولت .



شكل 7-16 المميزات الامامية لمضخم مباشر الاقتران

2-16 الوحدات اللوغاريتمية

من المناسب احياناً تمثيل النسبة بين قدرتين P_1 و P_2 بوحدات لوغاريتمية تعرف بالبيبل (Bel) كما يلي :

$$(16.4) \quad \log \frac{P_2}{P_1} = \text{نسبة القدرة بالبيبل}$$

وقد وجد ان البيبل وحدة كبيرة ، لذلك تستخدم وحدة الديسيبل Decibel (عشر البيبل) بشكل واسع ، لذلك :

$$(16.5) \quad 10 \log \frac{P_2}{P_1} = \text{نسبة القدرة بالديسيبل (dB)}$$

فاذا تكونت كلا القدرتين في نفس المقاومة أو في مقاومتين متساويتين فإنه :

$$P_1 = \frac{V_1^2}{R} = I_1^2 R \quad \text{and} \quad P_2 = \frac{V_2^2}{R} = I_2^2 R$$

حيث V_1 ، I_1 ، V_2 ، I_2 هي الفولتيات عبر المقاومة والتيارات فيها . لذلك

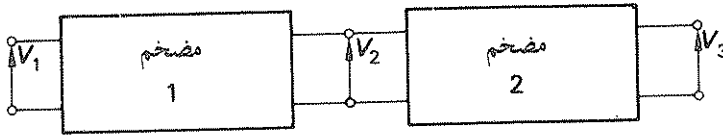
$$10 \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \frac{V_2^2/R}{V_1^2/R} = 10 \log \frac{V_2^2}{V_1^2} \quad (16.6)$$

نسبة القدرة بالديسيبل $20 \log \frac{V_2}{V_1} = \text{dB}$

$$20 \log \frac{I_2}{I_1} = \text{dB} \quad (16.7)$$

وبشكل مشابه تكون القدرة بالديسيبل

ان العلاقة المعروفة بالمعادلتين (16.6) و (16.7) بالرغم من انهما يمثلان بنسب الفولتيات والتيارات على التوالي ، الا انهما يمثلان نسب قدرة وهما يستخدمان بكثرة . هذا بالرغم من أن التعريف الاساسي خاطيء لتمثيل نسب الفولتية دون وجود قيم مشتركة للمقاومة حينما يمثل كسب الفولتية في مضخم بالديسيبل . وهنا يجب الحذر في استخدام الديسيبل هذا ، نظراً لأن استخدام كسب القدرة بالديسيبل يكون متفقاً تماماً مع التعريف الاساسي .



شكل 8-16 مضخمات متعاقبة

يبين الشكل 8-16 مضخمين مربوطين بشكل تعاقبي (Cascade) ، حيث يربط ادخال المضخم الثاني كحامل للمضخم الاول ، ويكون كسب الفولتية الكلي .

$$G_v = \frac{V_3}{V_2} \times \frac{V_2}{V_1}$$

وتمثل هذا بالديسيبل :

$$\begin{aligned} \text{كسب الفولتية بالديسيبل} \quad \text{dB} &= 20 \log \frac{V_3}{V_2} \times \frac{V_2}{V_1} \\ &= 20 \log \frac{V_3}{V_2} + 20 \log \frac{V_2}{V_1} \end{aligned}$$

لذلك فان كسب الفولتية الكلي بالديسيبل يساوي مجموع كسب الفولتيات بالديسيبل للمضخمات المنفردة وهذه النتيجة اكثر فائدة ويمكن تطبيقها لأي عدد من المضخمات المربوطة تعاقبياً . وبديهي أنها تنطبق على كسب القدرة على حد سواء ان استخدام الديسيبل يعطي تمثيلاً لقدرة ما (أو فولتية ما) بالنسبة الى

أخرى . فإذا كانت P_2 أكبر من P_1 يقال عن P_2 انها اعلى من P_1 بعدد من الديسيبل يساوي $10 \log \frac{P_2}{P_1}$
 وإذا كانت P_2 أقل من P_1 فإن $\log \frac{P_2}{P_1}$ يكون سالباً . ونظراً لأن $\log \frac{P_1}{P_2}$ يساوي $\log \frac{P_2}{P_1}$
 فانه من الاعتيادي ايجاد النسبة أكبر من الواحد ويقال عن P_2 انها أقل من P_1 بـ $10 \log \frac{P_1}{P_2}$

مثال (1.16) كسب الفولتية لمضخم عند تغذيته لحمل مقاومي مقداره 1 كيلو اوم يساوي 40 ديسيبل . اوجد اتساع فولتيه اشارة الاخراج وقدرة الاشارة في الحمل ، حينما تكون اشارة الادخال تساوي 10 ملي فولت .

$$20 \log \frac{V_2}{V_1} = 40$$

$$\therefore \log \frac{V_2}{V_1} = 2.0$$

$$\therefore \frac{V_2}{V_1} = 100$$

$$\therefore V_2 = 100 \times 10 = 1000 \text{ mV} = \underline{1.0 \text{ V}}$$

$$P_2 = \frac{V_2^2}{R_L} = \frac{1.0^2}{1000} = \frac{1}{1000} \text{ W} = \underline{1 \text{ mW}}$$

مثال (2.16) مثل القدرة المفقودة في المقاوم 15 أوم بالديسيبلات نسبة الى 1 ملي واط حينما يكون ج . م . ت . للفولتية عبر المقاوم يساوي 1.5 فولت .

$$P_2 = \frac{1.5^2}{15} \times 1000 = 150 \text{ mW}$$

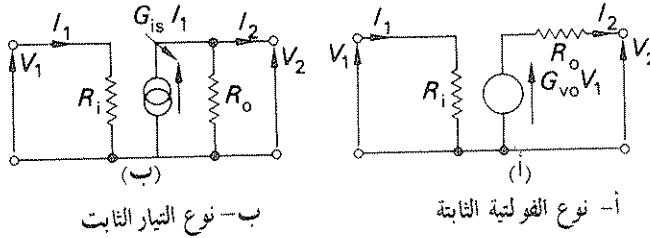
مستوى القدرة بالديسيبل بالنسبة الى 1 ملي واط

$$= 10 \log \frac{150}{1} = 10 \times 2.176 = \underline{21.76 \text{ dB}}$$

3.16 . الدوائر المكافئة للمضخمات

ان الدائرة المكافئة كما يظهر من تسميتها هي تلك الدائرة التي تعوض عن الدائرة الحقيقية لاغراض التحليل . فالدائرة المبينة في شكل 9.16 يمكن استخدامها كدائرة مكافئة لمضخم . وتمثل R_i مقاومة ادخال المضخم والتي تمثل خاصية تحميل دائرة ادخال المضخم لمصدر الاشارة ، ويمكن ايجادها من العلاقة

$$R_i = \frac{V_1}{I_1} \quad (16.8)$$



شكل 9-16 دوائر مكافئة لمضخمات

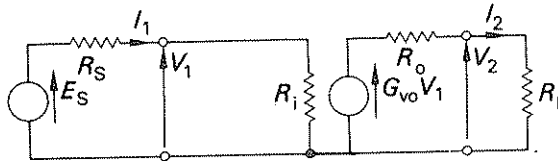
ان قابلية المضخم لتوليد كسب يمكن تمثيلها بمولد فولتية V_1 ، حيث G_{vo} هي كسب الفولتية الذي نحصل عليه عند ترك طرفي الاخراج مفتوحى الدائرة . ان مقاومة الاخراج هي R_o . حيث ان قيمة محددة منها تعني ان كسب الفولتية الذي نحصل عليه عند تحميل المضخم يكون أقل من الكسب عندما تكون الدائرة مفتوحة G_{vo} ، نظراً لفقدان جزء من الإشارة في R_o . وبشكل آخر يمكن تمثيل الدائرة المكافئة كما في الشكل 9-16 ب حيث تكون دائرة الاخراج بشكل تيار ثابت مع مولد تيار I_1 ، حيث G_{is} هو كسب التيار الذي نحصل عليه عند ربط طرفي الاخراج بدائرة قصر .

ونظراً لأن الدائرتين مكافئتان لبعضهما البعض ، ينتج أنه

$$G_{vo} V_1 = G_{is} I_1 R_o = G_{is} \frac{V_1}{R_i} R_o$$

$$\therefore G_{vo} = \frac{R_o}{R_i} G_{is} \quad (16.9)$$

ان استخدام مثل هذه الدوائر المكافئة ينطبق على كميات الإشارة فقط . ويجب عدم استخدامها في الحسابات المتعلقة بالكميات المستمرة المصاحبة للمضخم . هذا بالإضافة الى أن استخدامها يفترض علاقات خطية مضبوطة بين أشارتي الادخال والاخراج ، أي ان المضخم لا ينتج أي تشويه في شكل الموجة .



شكل 10-16 مضخم مع مصدر الإشارة والحمل

يبين الشكل (10-16) مضخماً ممثلاً بدائرة مكافئة مجهزة من مصدر إشارة ذي E_s فولت ومقاومة مصدر مقدارها R_s ومقاومة حمل تغذية مقدارها R_L . ويمكن اشتقاق المقادير للبارامترات المهمة بعد ذلك .
فولتيه إشارة الإدخال للمضخم :

$$V_1 = \frac{R_i E_s}{R_s + R_i} \quad (16.10)$$

$$V_2 = \frac{R_L}{R_o + R_L} G_{vo} V_1 \quad \text{فولتيه إشارة الإخراج}$$

$$G_v = \frac{V_2}{V_1} = \frac{G_{vo} R_L}{R_o + R_L} \quad (16.11) \quad \therefore \text{كسب الفولتيه}$$

$$I_2 = \frac{G_{vo} V_1}{R_o + R_L} = \frac{G_{vo} I_1 R_i}{R_o + R_L} \quad \text{تيار إشارة الإخراج}$$

$$G_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{G_{vo} R_i}{R_o + R_L} \quad (16.12) \quad \therefore \text{كسب التيار}$$

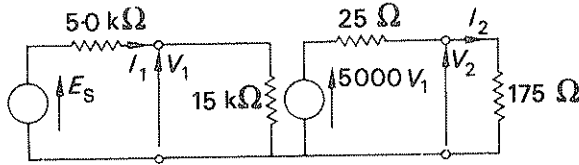
وبتعمير المعادلة (16-9) ينتج

$$G_i = \frac{\frac{R_o}{R_i} G_{is} R_i}{R_o + R_L} = \frac{G_{is} R_o}{R_o + R_L} \quad (16.13)$$

$$\frac{\text{إشارة القدرة في المضخم}}{\text{إشارة القدرة في الحمل}} = G_p \text{ كسب القدرة}$$

$$\therefore G_p = \frac{V_1^2 / R_i}{V_2^2 / R_L} = \frac{I_1^2 R_i}{I_2^2 R_L} = \frac{V_1 I_1}{V_2 I_2} = G_v G_i \quad (16.14)$$

مثال (3-16) مضخم دائرة متكاملة ذات كسب فولتيه للدائرة المفتوحة مقدارها 5000 ومقاومة ادخال مقدارها 15 كيلو اوم ومقاومة اخراج تساوي 25 اوم . جهزت من مصدر إشارة ذي مقاومة داخلية مقدارها 5 كيلو اوم ويغذى حملاً مقاومياً مقدارها 175 اوم . اوجد اتساع فولتيه مصدر الإشارة الذي ينتج فولتيه إشارة اخراج مقدارها 1 فولت ما مقدار مقاوم الحمل الذي ينصف اخراج إشارة الفولتيه لنفس الإدخال .



شكل 11-16 جزء من المثال 3-16

يبين الشكل 11-16 الدائرة

$$V_2 = \frac{175}{25 + 175} \times 5000 V_1$$

$$= G_v = \frac{V_2}{V_1} = \frac{175 \times 5000}{200} = 4350$$

كسب الفولتيه

$$\therefore V_1 = \frac{1.0}{4350} = 2.30 \times 10^{-4} \text{ V} = 230 \mu\text{V}$$

$$V_1 = \frac{15}{5 + 15} E_s \quad \therefore E_s = \frac{20 \times 230}{15} = 307 \mu\text{V}$$

لتصنيف اخراج الاشارة فان كسب الفولتيه يجب أن ينصف . لذا

$$\therefore G_v = \frac{4350}{2} = 2175 = \frac{R_L \times 5000}{25 + R_L}$$

$$\therefore 2175 \times 25 + 2175 R_L = 5000 R_L$$

$$\therefore R_L = \frac{2175 \times 25}{2825} = 19.2 \Omega$$

مثال (4-16) مضخم ذو كسب فولتيه للدائرة المفتوحة يساوي 70 ديسيبل ومقاومة اخراج مقدارها 1.5 كيلو اوم . اوجد اقل قيمة لمقاومة الحمل بحيث يكون كسب الفولتيه لا يزيد عن 3 ديسيبل أقل من قيمة الدائرة المفتوحة . اوجد مقدار فولتيه الاشارة لهذه القيمة من مقاومة الحمل حينما تكون اشارة الادخال 1 ملي فولت .

$$20 \log G_{v_o} = 70 \quad \therefore \log G_{v_o} = 3.50$$

$$\therefore G_{v_o} = 3160$$

$$20 \log G_v = 70 - 3 = 67 \quad \therefore \log G_v = 3.35$$

$$\therefore G_v = 2240$$

$$\therefore \frac{R_L}{R_o + R_L} 3160 = 2240$$

$$\therefore 3160 R_L = 2240 \times 1.5 + 2240 R_L$$

$$\therefore R_L = \frac{2240 \times 1.5}{920} = 3.65 \text{ k}\Omega$$

وبطريقة أخرى
نظراً لأن

$$20 \log G_{vo} - 20 \log G_v = 3.0$$

$$\therefore 20 \log \frac{G_{vo}}{G_v} = 3.0$$

$$\therefore \frac{G_{vo}}{G_v} = 1.41$$

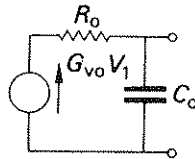
$$\therefore \frac{R_L}{R_o + R_L} = \frac{1}{1.41} \quad \therefore R_L = \frac{1.5}{0.41} = 3.65 \text{ k}\Omega$$

$$V_2 = 2240 \times 1.0 = 2240 \text{ mV} = 2.24 \text{ V}$$

4.16 استجابة التردد

سبق ان بينا في الفقرة 1.16 ان كسب المضخم ينخفض في الترددات العالية وفي بعض الاحيان في الترددات الواطئة ايضاً . ان الدوائر المكافئة كما استخدمت لحد الان لا تعطي اي اشارة الى ذلك ، نظراً لاحتوائها على مقاومات بحتة فقط ، لهذا يجب ان تحور لحدود مدى الترددات التي ينخفض فيها الكسب .

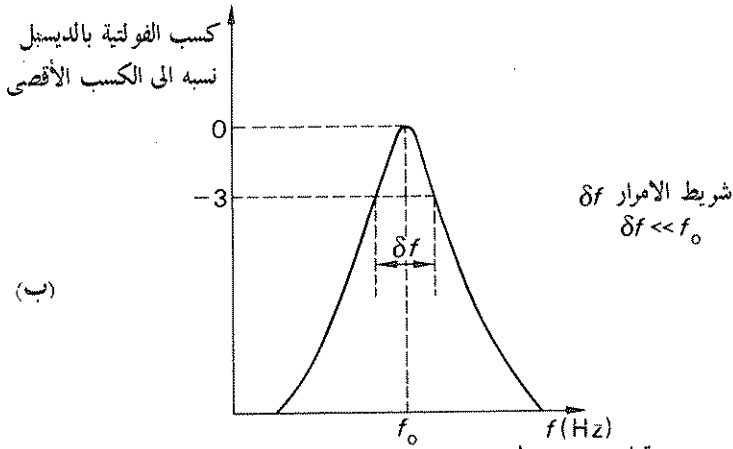
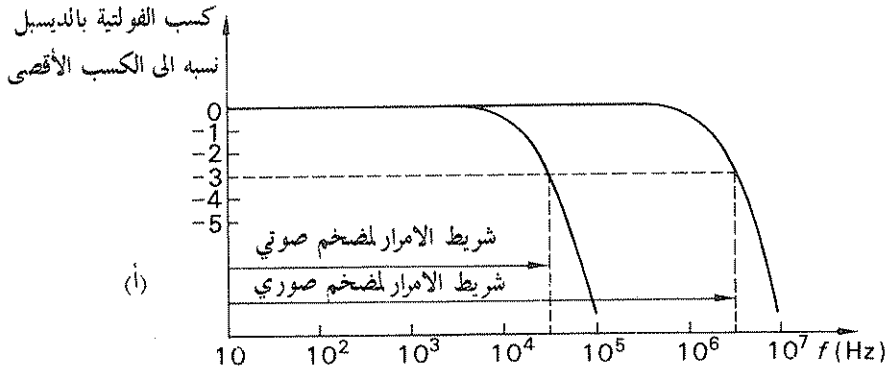
ان احد أسباب الخسارة في الكسب عند الترددات العالية هو وجود سعات توازي (Shunt Capacitances) عبر الحمل ناتجة عن السعات الشاردة في الدائرة الخارجية . والأهم من ذلك كله وجود السعة ضمن المضخم نفسه . لذلك فان الحمل الفعال على المضخم يقترب من الصفر عندما يقترب التردد من اللانهاية . وهذا يعني ان الفولتية تنخفض بسبب مسارات تيارات التسرب خلال سعة التوازي بدلاً من الحمل الحقيقي . اما السبب الاخر الذي يؤدي الى ان نقصان الكسب في الترددات العالية فهو النقصان المتأصل في الكسب المتورفي المضخم ، اي ان G_{vo} تنخفض مع التردد . ان الطريقة التي ينخفض الكسب بها نتيجة هذا التأثير تكون مشابهة لما ينتج عن سعة التوازي . وكلا التأثيرين يمكن تمثيلهما في الدائرة المكافئة بربط متسعة عبر طرفي الاخراج على فرض انه في التردد المفترض يكون أحد التأثيرين محسوساً . ومن الناحية العملية فان هذه الفرضية معقولة على مدى ترددات لا بأس بها . يبين الشكل 12.16 مقطع الاخراج لدائرة مكافئة محرفة للعمل في الترددات العالية . ويلازم النقصان في الكسب ازاحة الطور بين اشارتي الادخال والاخراج عن قيمهما الاعتيادية . اما اذا طلبت دراسة كلا التأثيرين مع بعضهما ، فانه من الضروري استخدام دائرة اكثر تعقيداً .



شكل 12.16 دائرة مكافئة لتشغيل التردد العالي

ان النقصان في الكسب في الترددات الواطئة ينتج من استخدام متسعات خاصة في الدائرة وتختار اقيامها بحيث تكون مفاعلاتها صغيرة جداً في الترددات المستخدمة لكي تكون الاشارة المتكونة عبرها صغيرة .

الا انه في الترددات الواطئة تكون اشارة محسوسة عبرها مما ينتج خسارة في الاشارة عند الحمل . وكما هي الحالة في استجابة التردد العالي فهناك ازاحة في الطور بين اشارتي الادخال والاخراج . ان عرض الشريط (Bandwidth) المضخم يعرف على انه الفرق في التردد بين الترددين الواطئ والعالي . f_1 و f_2 على التعاقب ، واللذان ينخفض الكسب فيهما بمقدار 3 ديسيبل عن قيمته العظمى . اما بالنسبة للمضخم مباشر الاقتران فان عرض الشريط يساوي f_2 ببساطة ، نظراً لأن الكسب يستمر الى التردد الذي يساوي صفر . ان شريط الامرار (Passband) او مدى تردد العمل (Working frequency range) يحدد بـ f_1 و f_2 .



مقياس رسم خطي

شكل 13-16 مميزات استجابة التردد

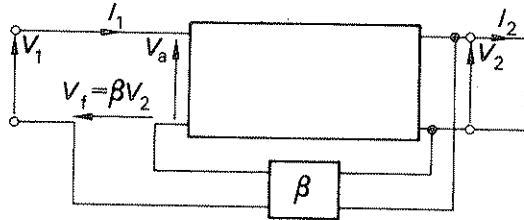
(أ) مضخمات الشريط العريض (ب) مضخم الشريط الضيق

واذا ما وقع ذلك ضمن مدى الترددات المسموحة عادة من قبل الاذن كموجات صوتية مثلاً بين 30 هرتزو و 15 كيلوهرتز فيل عن المضخم انه مضخم صوتي . وتستخدم مثل هذه المضخمات في انظمة

إعادة إنتاج الصوت . أما الإشارات المسطحة على انبوبة أشعة المهبط في مستقبلات التلفزيون فتنحرف
 إلى شرائط أوسع مثلاً من الصفح إلى عدد من الميكاهترز . وتعرف بالمضخمات الصورية
 (video amplifiers) . وفي كل من مضخمات الصوت والمضخمات الصورية يبقى
 الكسب ثابتاً تقريباً على مدى واسع من الترددات ، لذلك تعرف بمجموعها بمضخمات الشريط
 العريض (Broad-band amplifiers) . وهناك أنواع أخرى تعرف بمضخمات
 الشريط الضيق (Narrow-band amplifiers) . وتستخدم حينما يكون عرض
 الشريط أقل بكثير من التردد الوسطى . إن هذا النوع من المضخمات يجهز انتقاء (selectivity)
 بين الإشارات ذات الترددات المختلفة . وبين الشكل 13-16 منحنيات نموذجية للترددات
 لأنواع مختلفة من المضخمات .

(5-16) التغذية الخلفية (Feedback)

التغذية الخلفية هي العملية التي بها تشتق إشارة في جزء الإخراج من المضخم لكي تغذي خلفياً
 لجزء الإدخال . وبهذه الطريقة يستخدم المضخم لكي يعطي مميزات تختلف عن مميزات المضخم الأساسية
 وتكون الإشارة المغذاة خلفياً إما بشكل فولتية أو تيار وتسلط على التوازي أو على التوالي بالتعاقب مع إشارة
 الإدخال . هذا بالإضافة إلى أن إشارة التغذية الخلفية سواء كانت فولتية أو تيارية يمكن أن تكون متناسبة
 تناسباً طردياً مع تيار أو فولتية إشارة الإخراج . وهذا يؤدي إلى ظهور أربعة أنواع من التغذية الخلفية
 أي الفولتية المتوازية والتيار المتوازي والفولتية المتوازية والتيار المتوازي . إن المميزات الناتجة من هذه الأنواع
 الأربعة من التغذية الخلفية تكون متشابهة في بعض الأمور ومختلفة في أمور أخرى . وسندرس هنا



شكل 14-16 مضخم تغذية خلفية بفولتية متوازية

التغذية الخلفية من نوع الفولتية كمثل والذي يوضحه الشكل 14-16 كمضخم تغذية خلفية .
 إن الكتلة المؤشر عليها β هي الجزء من الدائرة الذي يجهز فولتية التغذية الخلفية $\beta V_2 = V_f$.
 وإن أحد الأشكال البسيطة لها يمكن أن يكون عبارة عن مقاومين مربوطين عبر طرفي الإخراج لكي يشكلوا
 مقسم فولتية (Voltage Divider) . وتكون فولتية التغذية الخلفية هي الإشارة المتكونة
 عبر أحد المقاومين . إن كسب الفولتية G_v يعتمد على الحمل الذي تظهره الشبكة β بالنسبة
 للمضخم ، بالرغم من أنه في تطبيقات عديدة تكون قيم المكونات المستخدمة في الشبكة
 بحيث لا تؤدي إلى تحميل المضخم بشكل محسوس .

من الشكل 14-16 :

$$= V_a = V_1 + V_f = V_1 + \beta V_2 \quad \text{اشارة الادخال للمضخم الاساسي تساوي}$$

$$V_2 = G_v V_a = G_v (V_1 + \beta V_2)$$

$$V_2 (1 - \beta G_v) = G_v V_1$$

$$= G_{vf} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$G_{vf} = \frac{G_v}{1 - \beta G_v} \quad (16-15)$$

كسب الفولتية مع التغذية الخلفية

إذا كانت قيمة $1 - \beta G_v$ اكبر من الواحد فان قيمة G_{vf} تكون أقل من G_v ويقال عن التغذية الخلفية بانها سالبة او انها ذات توليد عكسي (Degenerative) . ان أبسط وسيلة لتحقيق ذلك تكون بتجهيز مضخم عاكس للطور والذي تكون فيه G_v سالبة . لجعل β كسراً موجباً يمكن استخدام مقسم فولتية مقاومي بسيط . هذه الحالة الخاصة يمكن كتابة العلاقة (16-10) كما يلي :

$$|G_{vf}| = \frac{|G_v|}{1 + \beta |G_v|}$$

حيث $|G_v|$ و $|G_v|$ يمثلان اتساع هاتين الكميتين .
لذلك اذا كانت $\beta |G_v|$ اكبر بكثير من الواحد فانه

$$G_{vf} \cong \frac{|G_v|}{\beta |G_v|}$$

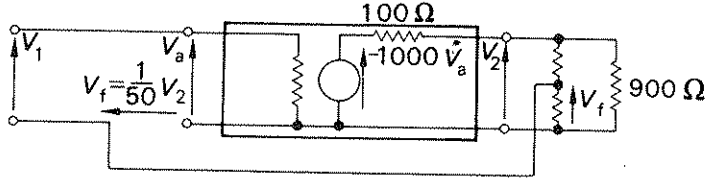
اي انه

$$|G_{vf}| \cong \frac{1}{\beta} \quad (16.16)$$

ان العلاقة (16-16) توضح ان كسب الفولتية بتغذية خلفية سالبة يكون غير معتمد نسبياً على كسب فولتية المضخم الاساسي على فرض ان $\beta |G_v|$ تبقى كبيرة بالمقارنة مع الواحد . وهذه هي احدى الخواص المهمة لمضخمات التغذية الخلفية ذات فولتية التوالي السالبة . لذلك فان كسب الفولتية يمكن الحصول عليه بدرجة عالية من الاستقرار باختيار اقيام المكونات في شبكة التغذية الخلفية .

مثال (5-16) مضخم ذو كسب فولتية يساوي 1000 - عندما تكون الدائرة مفتوحة وذو مقاومة اخراج مقدارها 100 أوم . يغذي حمل مقاومي مقداره 900 أوم . جهزت التغذية

الخلفية يربط مقسم فولتية مقاومي عبر الاخراج ثم غذيت خلفياً فولتية مقدارها $1/50$ من فولتية الاخراج بحيث كانت على التوالي مع اشارة الادخال اوجد كسب الفولتية مع التغذية الخلفية . ما مقدار النسبة المتوية للتغيير في كسب الفولتية مع التغذية الخلفية والتي تنتج من تغير الكسب في الفولتية للمضخم الاساسي مقداره 0.50 ناتجة من التغير في الحمل . أهمل تأثير التحميل لشبكة التغذية الخلفية .



شكل 15.16 جزء من المثال 5.16

ان الدائرة مبينة في شكل 15.16

$$G_v = \frac{900}{100 + 900} (-1000) = -900$$

كسب الفولتية مع التغذية الخلفية

$$= G_{vf} = \frac{G_v}{1 - \beta G_v}$$

$$= \frac{-900}{1 - (\frac{1}{50})(-900)} = \frac{-900}{1 + 18} = -47.4$$

$$G_v = -450$$

اذا كانت

$$\therefore G_{vf} = \frac{-450}{1 - (\frac{1}{50})(-450)} = \frac{-450}{1 + 9} = -45.0$$

$$\Delta G_{vf} = 47.4 - 45.0 = 2.4$$

نسبة التغيير في

$$G_{vf} = \frac{2.4}{47.4} \times 100 = 5.1\%$$

مثال (6.16) يطلب استخدام مضخم ذي كسب فولتية مقداره 100 والذي يجب ان لا يتغير بأكثر من 0.01 . اذا اريد استخدام التغذية الخلفية السالبة مع المضخم الاساسي والذي يمكن تغيير كسب الفولتية فيه بمقدار 0.20 . اوجد أقل كسب فولتية مطلوب وعامل التغذية الخلفية .

$$100 = \frac{G_v}{1 + \beta G_v} \quad [1]$$

$$99 = \frac{0.8 G_v}{1 + \beta 0.8 G_v} \quad [2]$$

$$\therefore 100 + 100 \beta G_v = G_v \quad [3]$$

$$99 + 79.2 \beta G_v = 0.8 G_v \quad [4]$$

$$[3] \times 0.792$$

[5]

$$\therefore 79 \cdot 2 + 79 \cdot 2 \beta G_v = 0 \cdot 792 G_v$$

$$[4] - [5]$$

$$19 \cdot 8 = 0 \cdot 008 G_v$$

$$\therefore G_v = \frac{19 \cdot 8}{0 \cdot 008} = \underline{2475}$$

وبالتعويض في [3]

$$100 + 100 \beta \times 2475 = 2475$$

$$\therefore \beta = \frac{2375}{100 \times 2475} = \underline{0 \cdot 00960}$$

إذا كانت قيمة $1 - \beta G_v$ أقل من الواحد فإنه من العلاقة (16·15) تكون قيمة βG_v أكبر من G_v . ويقال بعد ذلك ان التغذية الخلفية تكون موجبة او انها ذات اعادة توليد . ان من غير الشائع استخدام التغذية الخلفية الموجبة لزيادة الكسب نظراً لان مضخم التغذية الخلفية الموجبة يحوي مميزات يعكس مضخم التغذية الخلفية السالبة . لذلك فان استقرار كسب الفولتية مع التغذية الخلفية يكون أسوأ مما هو الحال في المضخم الاساسي .
ان هناك استخداماً للتغذية الخلفية الموجبة في حالة واحدة ذات قيمة عملية مهمة الا وهي حينما يكون $\beta G_v = 1$ ، حيث ينتج من العلاقة (16·10)

$$G_{vfr} = \frac{G_v}{0} = \infty$$

ان مضخماً بكسب لا نهائي هو ذلك المضخم الذي يمكن أن ينتج اشارة اخراج دون تجهيزه باشارة ادخال خارجية ، حيث يجهز اشارة ادخاله من خلال شبكة التغذية الخلفية . وتدعى مثل هذه الدائرة بالمذبذب (Oscillator) والتي تنتج اشارة اخراج بتردد سبق تحديده وتكون الدائرة مرتبة بحيث βG_v تساوي واحداً في ذلك التردد فقط . وانما يجب التركيز عليه ان الشرط $(\beta G_v = 1)$ يجب أن يتحقق بالقيمة والطور . من الضروري أن نركز على الوضع حينما تكون βG_v أكبر من الواحد والذي يمكن أن يكون كحالة زائلة فقط في مضخم تغذية خلفية نظراً لأن ذلك يعني أن اتساع اشارة الاخراج يزداد مع الزمن . فهذه الزيادة في الاتساع ستؤدي حتماً الى ولوج المضخم لكي يعمل في الاجزاء غير الخطية من المميزات . وربما الى الحزم (Cut-off) او ربما الى حيز التشبع وقد يحدث كلاهما . ان هذه النتيجة في نقصان الفعلي في G_v تؤدي الى استقرار النظام حينما يكون βG_v يساوي واحداً . لذلك فان تعويض قيم βG_v أكبر من (1 -) في العلاقة (15·16) لا يفيد في التطبيقات العملية .

في الفقرة 4-16 سبق أن بينا ان النقصان في الكسب في الترددات العالية والواطئة قد صاحبه تغير في ازاخة الطورين اشارتي الادخال والاخراج . لذلك من الممكن للتغذية الخلفية المصممة لكي تكون سالبة في شريط الامرار ، أن تصحح موجبة في ترددات أعلى أو أوطأ ، منتجة امكانية حدوث حالة $\beta G_v = 1$ حيث يقوم المضخم عند ذلك بالتذبذب في تردد مناسب . ويقال عنه انه غير مستقر (unstable) . ان كثيراً من أعمال التصميم المصاحبة لمضخمات التغذية الاعتيادية يكون غرضها الرئيسي ابقاء الاستقرار والتخلص من التذبذب .

مثال (7.16) مضخم ذو كسب فولتية مقداره 1000 - ضمن شريط الامرار . في تردد معين f_x خارج شريط الامرار كان كسب الفولتية منخفضاً بمقدار 15 ديسيبل عن قيمة شريط الامرار . وكان هنالك فرق طور مقداره صفر بين اشارتي فولتية الادخال والاخراج . اوجد اعظم كمية للتغذية الخلفية السالبة التي يمكن استخدامها لكي يكون مضخم التغذية الخلفية مستقراً .
نفرض ان كسب الفولتية في f_x يساوي G_{vx}

$$\therefore 20 \log \frac{G_v}{G_{vx}} = 15$$

$$\therefore \frac{G_v}{G_{vx}} = 5.62$$

$$\therefore G_{vx} = \frac{1000}{5.62} = 178$$

ونظراً لأن التذبذب يحدث عندما $\beta G_v = 1$ تساوي واحد .

لذلك فان أعظم قيمة ل β تساوي $1/178 = 0.0058$

لقد درسنا لحد الآن تأثير التغذية الخلفية للفولتية المتوالية على كسب الفولتية . ان من الضروري دراسة تأثيرها على المميزات الاخرى للمضخم ونظراً لأن استحداث تغذية خلفية متوالية تؤثر على اتساع تيار الادخال I_1 لقيمة معينة من فولتية الادخال V_1 فان كسب التيار لا يتأثر ، أي انه لقيمة معينة من I_1 لا يزال يعطي نفس القيمة من I_2 كما حددت في العلاقة (16.12) . وينتج من ذلك ان كسب القدرة والذي هو حاصل ضرب كسبي التيار والفولتية يتغير بنفس العامل مثل كسب الفولتية .
ان مقاومة الادخال مع التغذية الخلفية يمكن ايجادها بالرجوع الى الشكل 14.16 كما يلي :

$$\begin{aligned} R_{if} &= \frac{V_1}{I_1} && \text{مقاومة الادخال مع التغذية الخلفية} \\ &= \frac{V_a - V_f}{I_1} = \frac{V_a - \beta V_2}{I_1} = \frac{V_a - \beta G_v V_a}{I_1} \\ &= \frac{V_a(1 - \beta G_v)}{I_1} \\ R_{if} &= R_1(1 - \beta G_v) && (16.17) \end{aligned}$$

لذلك فان مقاومة الادخال تزداد مع تغذية الفولتية الخلفية المتوالية السالبة . ومن ثم تنقص مع تغذية الفولتية الخلفية المتوالية الموجبة .
اما مقاومة الاخراج مع التغذية الخلفية فيمكن ايجادها من النسبة بين فولتية اخراج الدائرة المفتوحة وتيار اخراج الخلفية دائرة القصر .

$$V_{2o/c} = G_{vo} V_a = G_{vo}(V_1 + V_f) = G_{vo}(V_1 + \beta V_{2o/c})$$

$$V_{2o/c} = \frac{G_{vo} V_1}{1 - \beta G_{vo}}$$

$$I_{2s/c} = \frac{G_{vo} V_a}{R_o} = \frac{G_{vo} V_1}{R_o}$$

(لا يوجد هناك اشارة تغذية خلفية في هذه الحالة نظراً لعدم وجود فولتية اخراج)

$$= R_{of} = \frac{V_{2o/c}}{I_{2s/c}} \quad \text{مقاومة الاخراج مع التغذية الخلفية}$$

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 - \beta G_{vo}} \quad (16.18)$$

لذلك فان مقاومة الاخراج تنقص بالتغذية الخلفية للفولتية المتوالية السالبة ومن ثم تزداد مع التغذية الفولتية الخلفية المتوالية الموجبة .

مثال (18-16) مضخم ذو كسب فولتية للدائرة المفتوحة مقدارها 1000 وذو مقاومة ادخال مقدارها 2000 أوم ومقاومة اخراج مقدارها 1 أوم . اوجد فولتية اشارة الادخال المطلوبة لانتاج تيار اشارة اخراج مقداره نصف امبير في مقاوم مقداره 4 أوم مربوط عبر طرفي الاخراج . اذا استخدم المضخم مع تغذية خلفية للفولتية المتوالية السالبة بحيث غدى خلفياً عشر اشارة الاخراج الى الادخال ، احسب فولتية اشارة الادخال التي تجهز نفس تيار اشارة الاخراج من المعادلة (16-12)

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{G_{vo} R_1}{R_o + R_L} = \frac{1000 \times 2000}{1.0 + 4.0} = 4.0 \times 10^5$$

$$I_1 = \frac{0.5}{4.0 \times 10^5} = 1.25 \times 10^{-6} \text{ A}$$

$$V_1 = I_1 R_1 = 1.25 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^3 = \underline{2.5 \text{ mV}}$$

ومع التغذية العكسية

$$\frac{I_2}{I_1} = 4.0 \times 10^5 \text{ (as before)} \quad \therefore \quad I_1 = 1.25 \times 10^{-6} \text{ A.}$$

$$R_{if} = R_i(1 + \beta G_v) = 2000 \left(1 + \frac{1}{10} \times \frac{4}{1+4} \times 1000 \right)$$

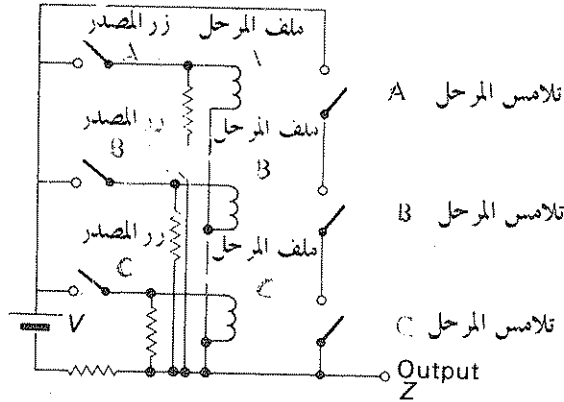
$$= 2000(1 + 80) = 162000 \Omega$$

$$\therefore V_1 = 1.25 \times 10^{-6} \times 1.62 \times 10^5$$

$$= 0.202 \text{ V} = \underline{202 \text{ mV}}$$

(6:16) البوابات المنطقية (Logic Gates)

تشغل بعض الدوائر الالكترونية بواسطة اشارات ادخال واخراج والتي يمكنها ان توجد باحد مستويين فقط : اي مثلاً صفر فولت و +6 فولت. وعلى الخصوص فان مجموعة من مثل هذه الدوائر تعرف بالبوابات المنطقية . وتكون وضعية اشارة الاخراج دالة لوضعية اشارات الادخال . وسندرس هنا البوابات المنطقية الأساسية المستخدمة عملياً . ان المستويين الممكنين اللذين يمكن أن توجد فيهما الاشارات سيعرفان بصفر وواحد . هذا مع العلم ان هاتين الأشارتين لا تعنيان تأثيرهما الحسابي الاعتيادي . فمثلاً يمكن أن يمثل الرمز واحد مستوى اقل من المستوى الذي يمثله الرمز صفر . واذا ما مثل المستوى الاكثر من الناحية الموجبة بين الاثنين بالرمز واحد قيل عن النظام أنه يستخدم منطقاً موجباً ، بينما من جهة أخرى اذا استخدم الواحد لكي يرمز للمستوى الاكثر من الجهة السالبة قيل عن النظام أنه يستخدم منطقاً سالباً . ان معظم الانظمة الحديثة تستخدم المنطق الموجب وهو ما سنركز عليه فيما بعد .



شكل 16:16 الدالة مع وتلامسات المرحلة

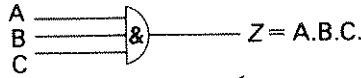
(AND Gate) بوابة مع

لفرض الدائرة المبينة في شكل (16:16) والتي تستخدم لتوضيح دالة مع ان اشارة الاخراج Z تكون بمستوى صفر فولت ، اي انها تكون منطقياً صفر ما لم تكن التلامسات كافة مغلقة . ولغرض غلق تلامس ما من الضروري تجهيز ملف المرحلة بـ V فولت اي منطقياً بـ 1 . ويمكن عمل ذلك بغلق زر المصدر المعني . لذلك اذا افترضنا فولتياً تجهيز المرحلات على انها هي الادخالات فان الاخراج يكون 1 اذا (و فقط اذا) كانت كافة الادخالات تساوي واحداً . ان هذه العبارة يمكن كتابتها باستخدام الجبر البولياني (Boolean Algebra) (اي رياضيات المنطق) بالشكل المبين كما يأتي :

$$Z = A.B.C \quad (16.19)$$

Z = A مع B مع C اي

ان نفس الدالة يمكن توليدها بالدوائر الالكترونية ، الا انه من الضروري تحديد مستويات الفولتية الصغرى والعظمى التي يمكن ان تقبل كافة البوابات ك 1 او صفر منطقياً على التعاقب . فمثلاً في دائرة ذات مصدر فولتية للتيار المستمر مقدارها 4.5 فولت ربما تساوي الفولتية الصغرى للواحد المنطقي 2 فولت والفولتية العظمى للصفر المنطقي ربما تساوي 0.8 فولت ، بالرغم من ان المستويين الاعتياديين هما 4.5 و صفر فولت على التعاقب . ان الاشارة المستخدمة لبوابة (مع) مبيّنة في شكل 17-16 . ويبين جدول الواقع (Truth Table) وضعية الاخراج لكافة الاحتمالات



شكل 17-16 رمز لبوابة مع

جدول الواقع لدالة مع

A	B	C	Z
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

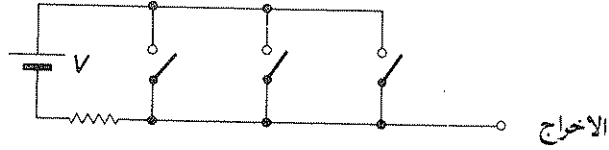
لحالات الادخال الممكنة . وقد اوضحت بوابة ذات ثلاثة مداخل بالرغم من انه عملياً يمكن ان يكون هناك مداخل عددها اكثر بكثير من ذلك .

بوابسة أو (OR Gate)

يكون اخراج هذه البوابة واحداً اذا كان اي من ادخالاتها يساوي واحداً . وتوضح هذه الدالة بتلامسات مرحل (قد حذف ملفه في الرسم) كما في شكل 18-16 ويبين الشكل 19-16 الاشارات المستخدمة . وتكتب هذه الدالة كما يلي :

$$Z = A + B + C \quad (16.20)$$

Z = A أو B أو C اي ان



شكل 18-16 دالة أو تلامسات المرحلة



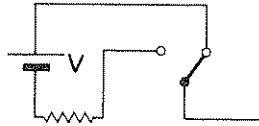
شكل 19-16 رمز لبوابة أو

جدول الواقع لدالة أو

A	B	C	Z
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	1	1

بوابة لا (NOT Gate)

تكون هذه البوابة ذات ادخال واحد حيث يكون الاخراج دائماً معاكس او متمم (complement) للادخال . وتبين دالة هذه البوابة بشكل تلامس مرحل كما في شكل 20-16 حيث تبين التلامس في الوضع الذي يعود الى وضع عدم تزويد الملف بالطاقة اي ان الادخال يساوي صفراً . ويبين الشكل 21-16 الاشارة لذلك . كما يمكن كتابة الدالة كما يلي :



شكل 20-16 دالة لا وتلامسات المرحلة

$$Z = \bar{A}$$

$$Z = \text{لا } A.$$

أي أن

(16.21)



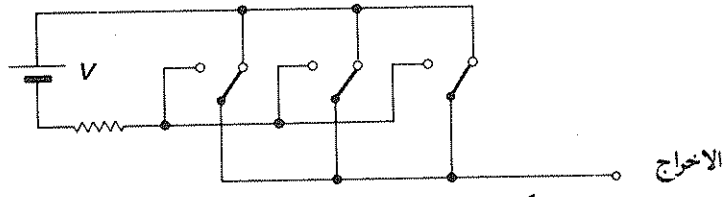
شكل 21-16 رمز البوابة لا

بوابة لا مع (NAND Gate)

ان اصطلاح (لا مع) (NAND) والذي هو مختصراً (لا NOT) و(مع AND) ان الاخراج يكون صفراً اذا (فقط اذا) كانت كافة الادخالات تساوي واحداً . وتوضح هذه الدالة بشكل تلامس المرحل المبين في شكل 22-16 . أما الإشارة فموضحة في شكل 23-16 ويمكن كتابة الدالة كما يلي :

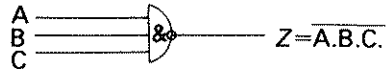
$$Z = \overline{A \cdot B \cdot C} \quad (16.22)$$

اي ان (C مع B مع A) لا Z =



شكل 22-16 دالة «لا مع» وتلامسات المرحل

بمقارنة الدائرة المبينة في شكل (22-16) مع دوائر الاشكال 18-16 و 20-16 تبين ان دالة « لا مع » هي دالة « او » على متممات الادخال . ويمكن التأكد من ذلك من جدول الواقع الذي يبين متممات الادخال ، ولهذا يمكن كتابة دالة



الشكل 23-16 رمز لبوابه «لا مع»

جدول الواقع لدالة « لا مع »

A	B	C	\bar{A}	\bar{B}	\bar{C}	Z
0	0	0	1	1	1	1
0	0	1	1	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0	1
1	0	0	0	1	1	1
1	0	1	0	1	0	1
1	1	0	0	0	1	1
1	1	1	0	0	0	0

« لا مع » بالشكل التالي ايضاً :

$$Z = \overline{A + B + C} \quad (16.23)$$

وبمقارنة العلاقات (16-23) و (16-22) نتج العلاقة المهمة

$$\overline{A.B.C} = \overline{A} + \overline{B} + \overline{C} \quad (16.24)$$

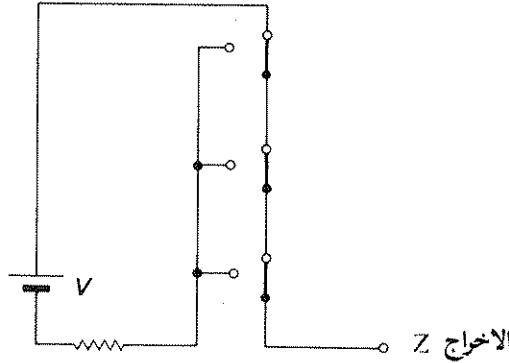
وهذه العلاقة صحيحة لأي عدد من الادخالات وهي احد أشكال نظرية دي مورغن (De Morgan Theorem) المشهورة في الجبر البولياني .

بوابة لا أو (NOR Gate)

ان الاصطلاح (لا أو) NOR والذي هو مختصراً (لا أو) (NOT OR) يعني ان الاخراج يكون صفراً اذا كان أي من الادخالات يساوي واحداً . ويمكن توضيح هذه الدالة بتلامس مرحل كالمبين في شكل 24-16 والمبينة اشارته في الشكل 25-16 . يمكن كتابة هذه الدالة :

$$Z = \overline{A + B + C} \quad (16.25)$$

أي أن (A أو B أو C) لا



شكل 24-16 دالة « لا أو » وتلامسات المرحل

وبمقارنة الدائرة المبينة في شكل 24-16 مع الاشكال 16-16 و 20-16 تبين أن دالة « لا أو » هي دالة « مع » لمتنمات الادخال .

ويمكن التأكد من ذلك بالرجوع الى جدول الواقع . لذلك يمكن كتابة دالة « لا أو » بالشكل التالي ايضاً



شكل 25-16 رمز بوابة « لا او »
جدول الواقع لدالة « لا او »

A	B	C	\bar{A}	\bar{B}	\bar{C}	Z
0	0	0	1	1	1	1
0	0	1	1	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0
0	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	1	0
1	0	1	0	1	0	0
1	1	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0

$$Z = \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} \quad (16.26)$$

وبمقارنة العلاقات (16-26) و (16-25) نتج العلاقة المهمة التالية

$$\overline{\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}} = A + B + C \quad (16.27)$$

ان هذه العلاقة صحيحة لأي عدد من الادخالات وهي الشكل الاخر لنظرية دي موركن . ان مما يجب ملاحظته ان العلاقة الممثلة بالمعادلات (16-19) الى (16-27) هي دوال الجبر البوليني . ويجب التاني لتجنب سوء الفهم في تفسيرها فمثلاً الاشارة (+) المستخدمة لاتعني نفس المعنى المستخدم في الجبر الابتدائي . كما ان قواعدها لا يشترط ان تنطبق هنا .

7-16 منطق الضم (Combinational logic)

ان ضم البوابات المنطقية التي شرحت في الفقرة السابقة يستخدم لاداء الدوال المنطقية التي تصادف في الازرار الصناعية وفي تطبيقات الحاسبات (Computers) .
والقواعد المدرجة ادناه مفيدة لتبسيط الدوال المنطقية المستخدمة في تركيب الدوائر ويمكن التأكد من صحتها عند الحاجة بالرجوع الى جداول الواقع .

قواعد الامتصاص (Absorption Rules)

1. $X + 0 = X$
2. $X + X = X$
3. $X + 1 = 1$

4. $X \cdot 0 = 0$
5. $X \cdot 1 = X$
6. $X \cdot X = X$

جدول الواقع لقواعد الامتصاص

X	1	0	$X+0$	$X+X$	$X+1$	$X \cdot 0$	$X \cdot 1$	$X \cdot X$
0	1	0	0	0	1	0	0	0
1	1	0	1	1	1	0	1	1

(Commutative Rules) قواعد التبادل

1. $X+Y=Y+X$
2. $X \cdot Y=Y \cdot X$

(Associative Rules) قواعد الاشتراك

1. $X+(Y+Z)=(X+Y)+Z$

جدول الواقع لقاعدة المشاركة الاولى

X	Y	Z	$Y+Z$	$X+Y$	$X+(Y+Z)$	$(X+Y)+Z$
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	1	1
0	1	0	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1

2. $X \cdot (Y \cdot Z) = (X \cdot Y) \cdot Z$

جدول الواقع لقاعدة المشاركة الثانية

X	Y	Z	$Y \cdot Z$	$X \cdot Y$	$X \cdot (Y \cdot Z)$	$(X \cdot Y) \cdot Z$
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1

Distributive Rules

قواعد التوزيع

1. $X + Y \cdot Z = (X + Y) \cdot (X + Z)$

جدول الواقع لقاعدة التوزيع الاولى

X	Y	Z	Y · Z	X + Y · Z	X + Y	X + Z	(X + Y) · (X + Z)
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	1	1
1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

2. $X \cdot (Y + Z) = X \cdot Y + X \cdot Z$

جدول الواقع لقانون التوزيع الثاني

X	Y	Z	Y + Z	X · (Y + Z)	X · Y	X · Z	X · Y + X · Z
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	1	0	1	1
1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Complementation Rules

قواعد التمام

1. $X + \bar{X} = 1$

2. $X \cdot \bar{X} = 0$

جدول الواقع لقواعد التمام

X	\bar{X}	$X + \bar{X}$	$X \cdot \bar{X}$
0	1	1	0
1	0	1	0

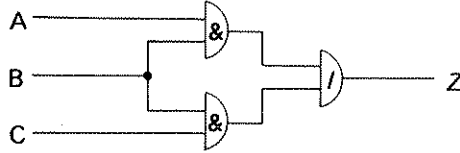
نظرية دي موركن

$$1. \overline{A \cdot B \cdot C} = \bar{A} + \bar{B} + \bar{C}$$

$$2. \overline{\bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}} = A + B + C$$

لقد سبق ان بينا هذه القواعد في الفقرة 16-6 عند الكلام عن بوابتي « لامع » و « لاأو » وسنوضح استخدام هذه القواعد في الأمثلة المبينة ادناه .

مثال (9-16) اوجد العلاقة بين اخراج الدائرة Z المبينة في شكل 26-16 والادخالات A و B و C ثم أنشئ الدائرة باستخدام بوابتين فقط بحيث تؤدي نفس الدالة .



شكل 26-16

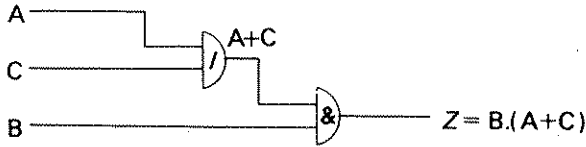
اخراج بوابة « مع » الاولى $A \cdot B$

اخراج بوابة « مع » الثانية $B \cdot C$

لذلك فان اخراج بوابة « أو » $A \cdot B + B \cdot C = Z$

وباستخدام قاعدة التوزيع الثانية

لذلك فان الدائرة المبينة في شكل 27-16 تؤدي الدالة المطلوبة .



شكل 27.16 جزء من المثال 9-16

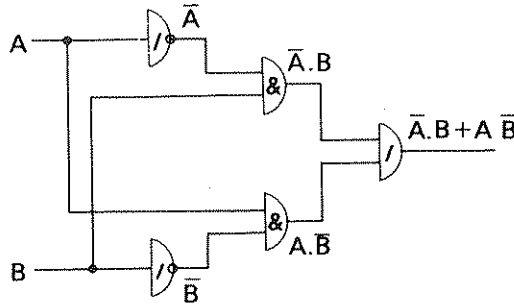
مثال (10-16) ارسم الدائرة مستخدماً بوابات « مع » و « أو » و « لا » التي تنتج اخراجاً مقداره واحداً اذا كان الادخالات مختلفين .

اذا كان الادخالات A و B

فان الدالة المطلوبة هي :

$$f = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B$$

وهذه الدالة يمكن توليدها كما مبين في الشكل 28-16. وتعرف هذه الدائرة مجتمعة ببوابة «لا-المكافئة» (NOT-EQUIVALENT)



شكل 28-16 جزء من المثال 10-16

مثال (11-16) فرن كهربائي يستخدم ادوات متماثلة لتحسس درجة الحرارة والتي تنتج اخراجاً مكافئاً الى الواحد المنطقي حينما تكون درجة حرارة الفرن اعلى من قيمة معينة . وتستخدم هذه الأدوات مرتبطة مع دائرة منطقية تحتوي على بوابات « مع » و « أو » لانتاج اخراج يستخدم لاطفاء الفرن حينما ينتج اثنان أو أكثر من الادوات اخراجاً مقداره واحد . ارسم مخطط الدائرة لترتيب مناسب للبوابات .

اذا كانت ادوات التحسس لدرجة الحرارة هي A, B, C، فانه يمكن الحصول على الواحد المنطقي اذا كان أي من اثنين من الاخراجات او الثلاثة مجتمعة تساوي الواحد المنطقي . لذلك فان الدالة المطلوبة هي :

$$f = A \cdot B \cdot \bar{C} + A \cdot \bar{B} \cdot C + \bar{A} \cdot B \cdot C + A \cdot B \cdot C$$

ونظراً لانه من قاعدة الامتصاص الثانية $X = X + X$ ، ينتج ان الحد $A \cdot B \cdot C$ يمكن اعداده الى عدد من المرات في المقدار اعلاه دون التأثير في صلاحيته .

$$f = A \cdot B \cdot \bar{C} + A \cdot B \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot C + A \cdot B \cdot C + \bar{A} \cdot B \cdot C + A \cdot B \cdot C$$

وباستخدام قاعدة التوزيع الثانية

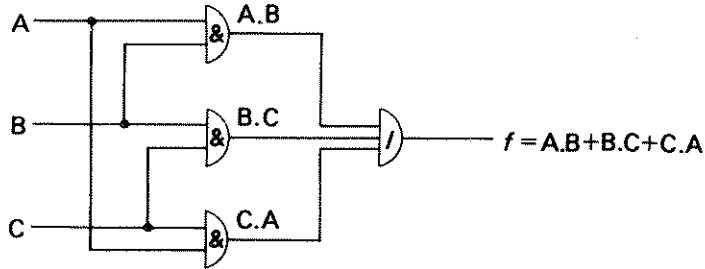
$$f = A \cdot B(C + \bar{C}) + A \cdot C(B + \bar{B}) + B \cdot C(A + \bar{A})$$

ومن القانون الأول للتمام

$$A + \bar{A} = 1 \quad B + \bar{B} = 1 \quad C + \bar{C} = 1.$$

$$f = A \cdot B + B \cdot C + C \cdot A$$

لذلك فان الدالة المطلوبة يمكن تكوينها باستخدام الدائرة المبينة في شكل 29-16 . لقد تم حل المسائل



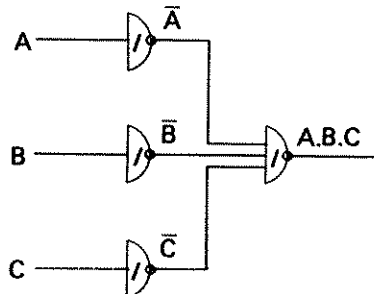
شكل 29-16 جزء من المثال 11-16

السابقة باستخدام بوابات « مع » و « أو » و « لا » الا انه من الضروري استخدام بوابات « لا أو » و « لا مع » نظراً لأنها متوفرة مباشرة في الدائرة المتكاملة . يبين الشكل 30-16 توليد دالة « لا » باستخدام بوابة « لا أو » . ان الادخالات غير المستخدمة والتي تبين في المخططات المنطقية تكون دائماً بمستوى الصفر .

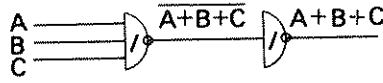


شكل 30-16 توليد دالة لا ببوابة لا أو

ومن فحص جدول الوقائع لدالة « لا أو » يتضح انه تحت هذه الظروف تتولد دالة « لا » وبصورة مشابهة يبين الشكلان 31-16 و 32-16 توليد دالتي « مع » و « أو » على التوالي لذلك يمكن الاستعاضة مباشرة عن البوابات « مع » و « أو » و « لا » بالوضعيات المناسبة من بوابات « لا أو » . تبين الاشكال 33-16 و 34-16 و 35-16 كيفية تكوين الدوال الاساسية لاستخدام بوابات « لا مع » .



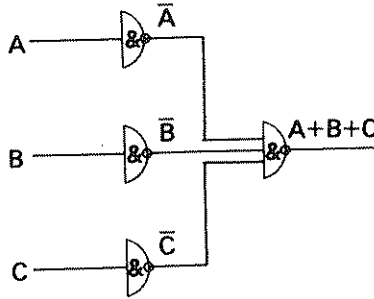
شكل 31-16 توليد دالة مع ببوابات « لا أو »



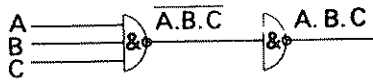
شكل 16, 32 توليد دالة أو ببوابات «لا أو»



شكل 16, 33 توليد دالة لا ببوابة «لامع»

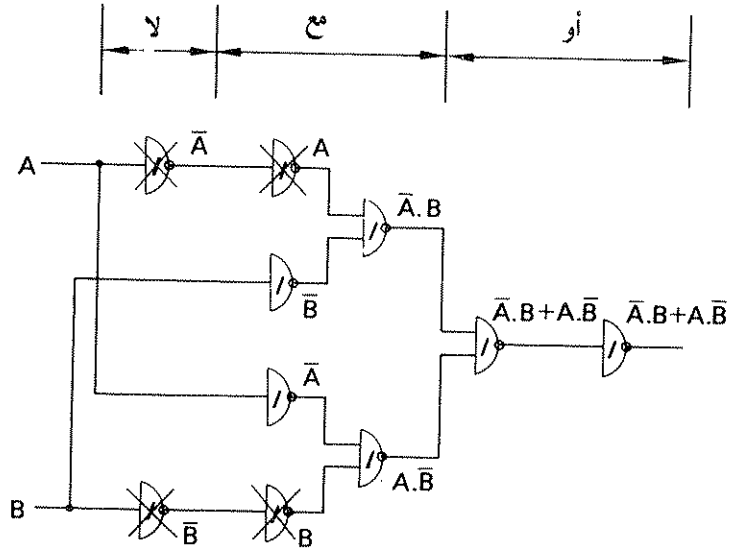


شكل 16, 34 توليد دالة أو ببوابة «لامع»

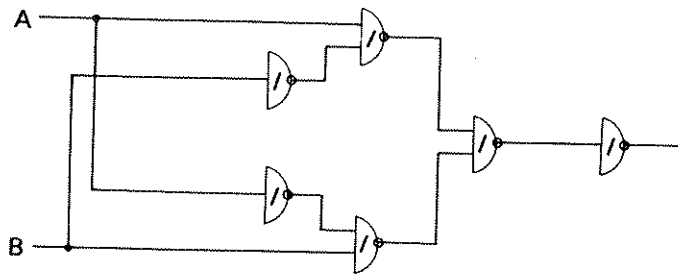


شكل 16, 35 توليد دالة مع ببوابات «لا او»

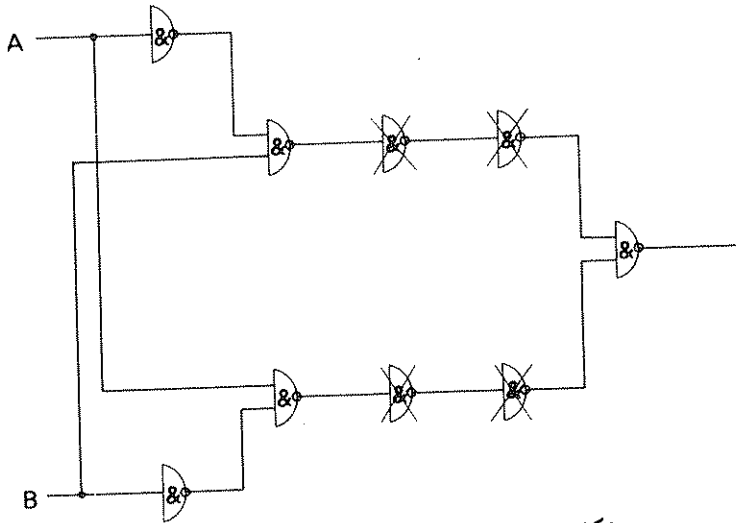
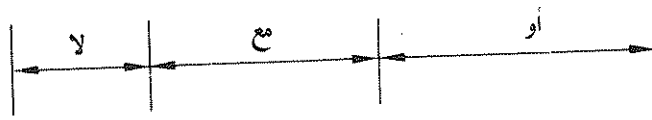
لنأخذ البوابة لا المكافئة والتي اشتقت في المثال (10-16) . لقد حولت الأخيرة مباشرة الى دائرة البوابة المنطقية «لا أو» كما مبين في شكل 16-36 . من تفحص الدائرة يتبين ان زوجين من بوابات «لا أو» زائدة عن الحاجة ، نظراً لأن اخراج أي زوجين منها يساوي ادخالها . وقد شطبنا هذه البوابات ثم اعيد تبسيط الدائرة كما في شكل 16-37 . وبصورة مشابهة فقد تم توليد الدالة باستخدام بوابات «لامع» في الشكل 16-38 حيث تبين وجود بوابتين زائدتين عن الحاجة أيضاً . ويتبين تبسيط الدائرة في الشكل 16-39



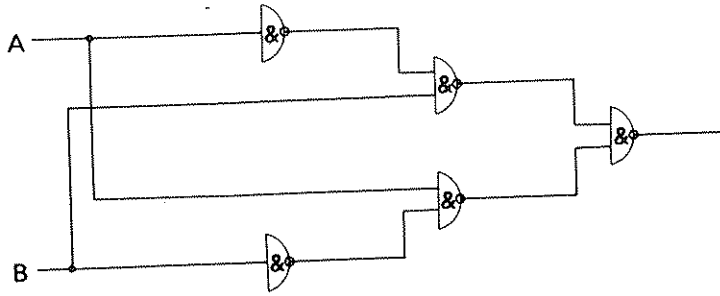
شكل 36-16 دالة لا-المكافئة ببيانات « لا أو »



شكل 37-16 دائرة مبسطة لدالة لا-المكافئة



شكل 38-16 دالة لا-المكافئة ببوابات «لامع»



شكل 39-16 دائرة مبسطة لدالة لا-المكافئة

بصورة عامة اذا اعيد انشاء الدائرة من ببوابات « لا أو » فان الدالة المطلوبة يمكن تمثيلها باسبب صورها بشكل انتاج منطقي لعدد من المجاميع المنطقية .
أي أن

$$f = (A + B).(A + C).(A + D)$$

ونظراً لأن بوابة « لا أو » تنتج دالة « مع » بتمام ادخالاتها فان الادخالات المطلوبة لبوابة « لا مع » النهائية يمكن ايجادها بأخذ تمام كل حد من حاصل الضرب .
 فمثلاً للدالة المبينة اعلاه $\overline{A + D}, \overline{A + C}, \overline{A + B}$ يمكن تحويل كل منها الى حاصل ضرب منطقي باستخدام نظرية دي موركن ، أي أن

$$\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}, \overline{A + C} = \overline{A} \cdot \overline{C} \quad \text{and} \quad \overline{A + D} = \overline{A} \cdot \overline{D}$$

وهذه تكون قد تولدت منفصلة باستخدام بوابات « لا أو » . ويمكن الحصول على نفس الشيء بتمثيل تمام الدالة المبينة باسبب اشكالها كمجموع منطقي لحواصل ضرب منطقي . وباستخدام كل حد من هذا المقدار كادخال لبوابة « لا أو » النهائية .

$$\overline{f} = \overline{A} \cdot \overline{B} + \overline{A} \cdot \overline{C} + \overline{A} \cdot \overline{D}$$

مثلاً ، للدالة المبينة اعلاه :

باستخدام بوابات « لا مع » تكون الدالة المطلوبة ممثلة كمجموع منطقي لعدد من حواصل الضرب المنطقية . ونظراً لأن بوابات « لا مع » تولد دالة « أو » عند تمام ادخالاتها ، لذلك فان الادخالات لبوابات « لا مع » النهائية يمكن ايجادها بأخذ تمامات كل الحدود في المجموع اعلاه . وهذه يمكن بعد ذلك توليدها منفصلة في هذه الحالة باستخدام بوابات « لا مع » .
 ان هذه الطرق المحددة لبوابات « لا أو » وكذلك « لا مع » لا تضمن ابسط دائرة ممكنة ، الا ان الطرق المستخدمة في تبسيط الدوائر لا بسط شكل ممكن خارجه عن نطاق هذا الكتاب .

مثال (12-16) ارسم الدوائر التي تولد الدالة

$$f = B \cdot (\overline{A} + \overline{C}) + \overline{A} \cdot \overline{B}$$

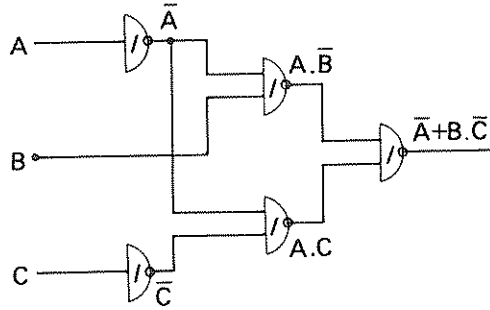
باستخدام أ- بوابات « لا أو » . ب- بوابات « لا مع »

$$\begin{aligned} f &= B \cdot (\overline{A} + \overline{C}) + \overline{A} \cdot \overline{B} \\ &= B \cdot \overline{A} + B \cdot \overline{C} + \overline{A} \cdot \overline{B} \quad (\text{قاعدة التوزيع الثانية}) \\ &= \overline{A} \cdot (B + \overline{B}) + B \cdot \overline{C} \quad (\text{قاعدة التوزيع الثانية}) \\ &= \overline{A} + B \cdot \overline{C} \quad (\text{قاعدة التمام الثانية}) \end{aligned}$$

أ- لبوابات « لا أو »

$$\begin{aligned} \overline{\overline{f}} &= \overline{\overline{A} + B \cdot \overline{C}} \\ &= \overline{A \cdot (B \cdot \overline{C})} \quad (\text{تمام الدالة يساوي}) \\ &= \overline{A} \cdot \overline{(B \cdot \overline{C})} \quad (\text{نظرية دي موركن}) \\ &= \overline{A} \cdot (\overline{B} + C) \quad (\text{نظرية دي موركن}) \\ &= \overline{A} \cdot \overline{B} + A \cdot C \quad (\text{قاعدة التوزيع الثانية}) \end{aligned}$$

تولد $A \cdot \bar{B}$ و A منفصلتين مما ينتج الدائرة المبينة في شكل 40-16



شكل 40-16 جزء من المثال 12-16

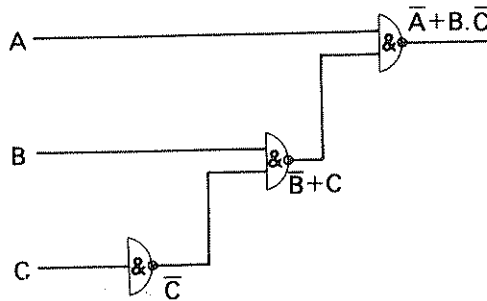
ب- لبوابات « لا مع »

$$f = \bar{A} + B \cdot \bar{C}$$

الادخالات لبوابة « لا مع » هي :

$$\bar{\bar{A}} = A \quad \text{and} \quad \bar{\bar{B \cdot C}} = \bar{B} + \bar{C}$$

ان $\bar{B} + \bar{C}$ يمكن توليدها منفصلة وفق الدائرة المبينة في شكل 41-16



شكل 41-16 جزء من المثال 12-16

مسائل على الانظمة الالكترونية

1 . عند تحميل مضخم بمقاوم قيمته 2 كيلو اوم كان كسب الفولتية يساوي 80 وكسب التيار يساوي 120 . اوجد اشارات الفولتية والتيار اللازمين لكي تنتج اشارة فولتية اخراج مقدارها 1 فولت . ما مقدار كسب القدرة للمضخم ؟

12.5 mV; 4.17 μ A; 9 600

2 . مضخم ذو كسب فولتية مقداره 50 ديسيبل . اوجد فولتية الاخراج حينما تكون فولتية الادخال 2 ملي فولت .

632 mV

3 . تم تغيير اخراج مولد اشارة بالديسيبل لحمل مقاومي مقداره 600 أوم مربوط عبر طرفي اخراجه . اوجد فولتية الطرفين لكي ينتج :

أ- صفر ديسيبل تعود الى فقد في الحمل مقداره 1 ملي واط

ب- (+10) ديسيبل

ج- (-10) ديسيبل

0.775 V; 2.45 V; 0.245 V

4 . ربط مضخم لاغراض الفحص على التعاقب (cascade) مع موهن (attenuator) عند تضخيم الموهن على 70 ديسيبل كانت قيمة فولتية اشارة الاخراج (أ) مساوية و (ب) ضعف قيمة فولتية اشارة الادخال للمنظومة . اوجد كسب فولتية المضخم .

(a) 70 dB; (b) 76.0 dB

5 . كسب فولتية مضخم عند فتح دائرته يساوي 80 ديسيبل ومقاومة اخراجه تساوي 100 أوم . عند ربط حمل مقاومي مقداره 1 كيلو اوم عبر طرفي الاخراج . اوجد فولتية الادخال اللازمة لكي تنتج فولتية اخراج مقدارها 2 فولت .

0.220 mV

6 . كسب الفولتية لمضخم عند فتح الدائرة يساوي 1000 ومقاومة اخراجه تساوي 15 اوم ومقاومة ادخاله 7 كيلو اوم . جهاز من مصدر اشارة قيمة ق.د.ك. له تساوي 10 ملي فولت ومقاومته الداخلية 3 كيلو اوم ويجهز حملاً مقداره 35 اوم . اوجد قيمة فولتية اشارة الاخراج وكسب القدرة بالديسيبل .

$$4.9 \text{ V}; \quad 53.0 \text{ dB}$$

7 . عند تحميل مضخم بمقاوم مقداره 4 كيلو اوم كان كسب الفولتية له يساوي 72 ديسيبل . وعند تحميله بمقاوم مقداره 9 كيلو اوم كان كسب الفولتية له يساوي 73.2 ديسيبل . اوجد كسب الفولتية للدائرة المفتوحة ومقاوم اخراج المضخم .

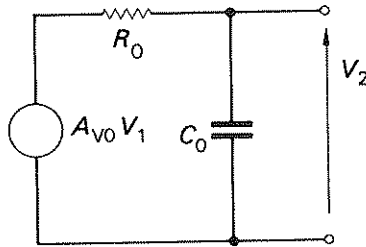
$$74.3 \text{ dB}; \quad 1.23 \text{ k}\Omega$$

8 . كسب التيار لمضخم عند دائرة القصر يساوي 100 ومقاومة ادخاله تساوي 2.5 كيلو اوم وتوصيلية اخراجه تساوي 25 ميكروسيمنس . جهاز من مصدر اشارة يمكن اعتباره كمولد تيار يساوي 12 ميكرو امبير على التوازي مع مقاوم مقداره 5 كيلو اوم يغذي المضخم حملاً مقاومياً مقداره 10 كيلو اوم . اوجد كسب التيار والفولتية والقدرة للمضخم ثم اوجد التيار في الحمل والفولتية عبره والقدرة المفقودة فيه .

$$80; \quad 320; \quad 2.56 \times 10^4; \quad 0.640 \text{ mA}; \quad 6.40 \text{ V}; \quad 4.10 \text{ mW}$$

9 . يبين الشكل 42-16 . جزء الاخراج من دائرة مكافئة لمضخم ، اشتق معادلة تبين التردد الذي يكون كسب فولتية الدائرة المفتوحة له يساوي 3 ديسيبل تحت القيمة عند الترددات الواطئة جداً . اوجد هذا التردد .

$$\text{ملاحظة : } 3.0 = 20 \log \sqrt{2}$$



شكل 42-16

$$f = \frac{1}{2\pi R_0 C_0}; \quad 1.59 \text{ MHz}$$

10 . يطلب تركيب مضخم ذي كسب فولتية يساوي 100 من وحدة مضخم أساسي ذي كسب فولتية يساوي 500 . أوجد الجزء اللازم من فولتية الاخراج الذي يجب استخدامه بتغذية فولتية خلفية سالبة متوالية . ثم اوجد النسبة المتوية للتغير في كسب الفولتية لمضخم تغذية خلفية ، اذا كان كسب فولتية المضخم الاساسي (أ) ينقص بمقدار 0.10 (ب) يزيد بمقدار 0.10

0.008; (a) 2.2%; (b) 1.9%

11 . مضخم تغذية خلفية بفولتية متوالية يحوي عامل تغذية خلفية $\beta = 9.5 \times 10^{-4}$ اذا كان كسب الفولتية له بدون تغذية خلفية يساوي 1000 . أحسب كسب الفولتية حينما تكون التغذية الخلفية (أ) سالبة (ب) موجبة . ما مقدار الزيادة في كسب الفولتية بدون تغذية خلفية والتي تنتج تذبذب في حالة التغذية الخلفية الموجبة ؟

(a) 513; (b) 20 000; 5.3%

12 . مضخم بدائرة يحوي المميزات التالية :

كسب الفولتية للدائرة المفتوحة يساوي 75 ديسيبل

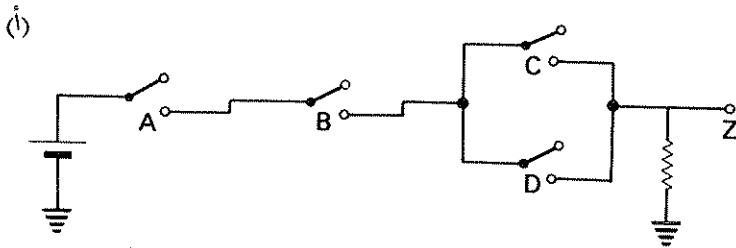
مقاومة الادخال تساوي 40 كيلو اوم .

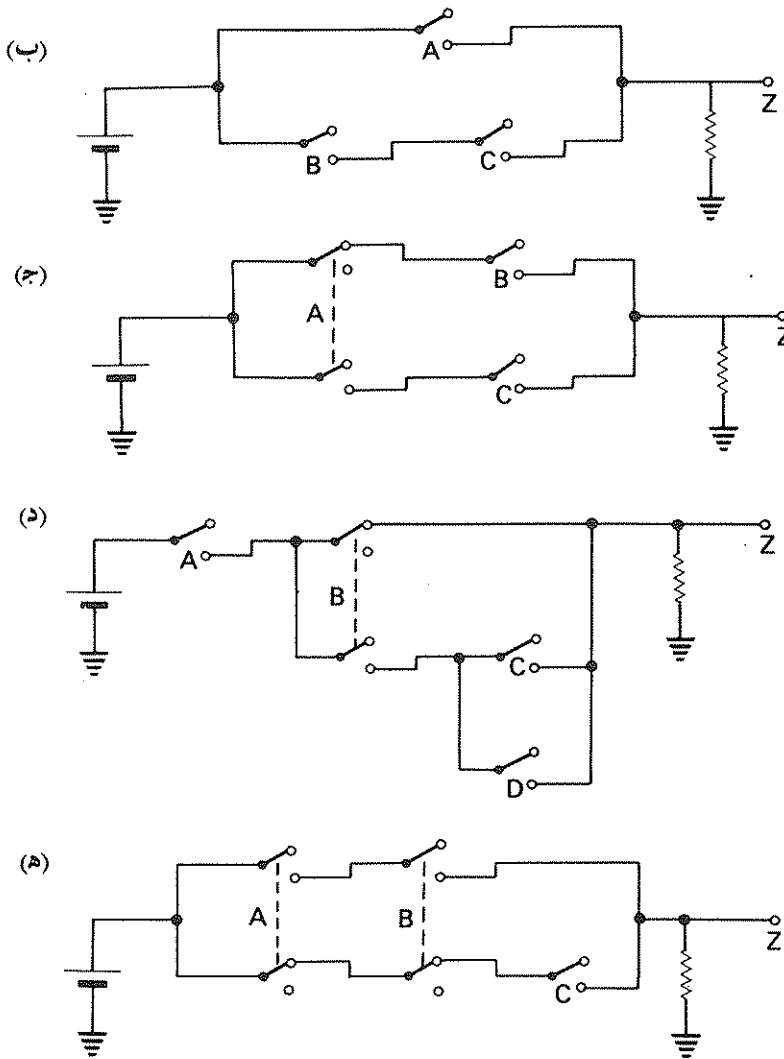
مقاومة الاخراج تساوي 1.5 كيلو اوم

من الضروري استخدامه في تغذية خلفية للفولتية المتوالية السالبة لكي ينتج مقاومة اخراج مقدارها 5 اوم . اوجد عامل التغذية الخلفية اللازم . ما مقدار فولتية اشارة الاخراج عندما يكون الحمل المقاومي مقداره 10 اوم وعامل التغذية الخلفية المشار اليه اعلاه حينما يجهز مضخم التغذية الخلفية من مصدر اشارة ذو 10 ملي فولت ومقاومة متوالية مقدارها 10 كيلو اوم .

0.0532; 109 mV

13 . للدوائر المبينة في شكل 43-16 تبين الازرار في اوضاعها الممثلة بالصفر المنطقي . اكتب المعادلات المنطقية التي توضح حالة اشارة الاخراج Z في ضوء علاقاتها مع اوضاع الازرار لكل دائرة .

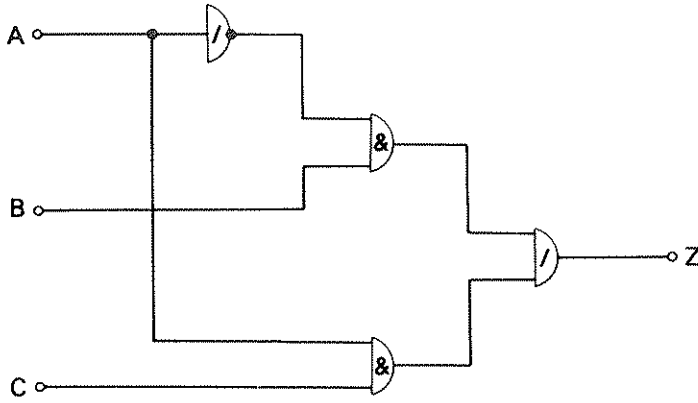




شكل 43-16

(أ) $Z = A \cdot B \cdot (C + D)$ (ب) $Z = A + B \cdot C$ (ج) $Z = \bar{A} \cdot B + A \cdot C$ (د) $Z = A \cdot (\bar{B} + B(C + D))$
 (هـ) $Z = A \cdot B + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C$

14 · للدائرة المبينة في شكل (44-16) اوجد العلاقة بين الاخراج Z والادخالات A و B .
 انشيء جدول الواقع للدالة .



شكل 16-44

$$Z = \bar{A} \cdot B + A \cdot C$$

15 . ارسم الدائرة التي تحتوي على بوابات «مع» و«أو» و«لا» لتوليد الدالة المبيّنة في جدول الواقع .

A	B	C	Z
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

جدول السؤال 15

16 . يطلب رسم دائرة لكي تنتج الواحد المنطقي حينما تكون ادخلاتها متطابقة .

وضح كيف يمكن انشاء مثل هذه الدائرة باستخدام .

أ- بوابات «مع» و«أو» و«لا» ب- بوابات «لا مع» ج- بوابات «لا أو»

17 . بسط الدوال المنطقية التالية ثم ارسم مخططات الدوائر التي تولد هذه الدوال باستخدام

(أ) بوابات «مع» و«أو» و«لا» (ب) بوابات «لا مع» (ج) بوابات «لا أو»

$$(i) f = A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + A \cdot \bar{B} \cdot C + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C$$

$$(ii) f = \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot B \cdot C + A \cdot \bar{B} \cdot C + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C$$

$$(iii) f = A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot B \cdot C$$

$$(iv) f = A \cdot B \cdot C + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}$$

$$(v) f = B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} + A \cdot \bar{B} \cdot D + B \cdot C \cdot \bar{D} + \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot D$$

(i) $f = \bar{B}$; (ii) $f = \bar{A} \cdot B + \bar{B} \cdot C$; (iii) $\bar{B} \cdot \bar{C} + \bar{A} \cdot B \cdot C$; (iv) بدون تبسيط

(v) $f = B \cdot \bar{D} + \bar{B} \cdot D$

الفصل السابع عشر

القياسات وأجهزة القياس

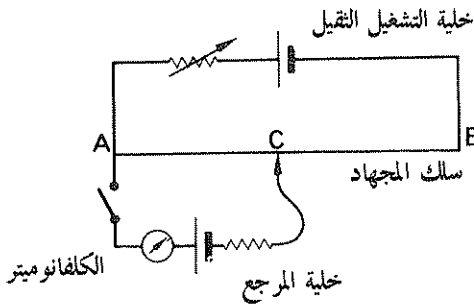
لقد وصفنا في الفصول السابقة وحللنا التكنولوجيا الكهربائية الأساسية .
بقي علينا الآن ان نصف تشغيل بعض الادوات التي تجعل تلك المشاهدات
ممكنة . لقد كان كافياً عند البدء ان نتعامل مع صندوق مقفل ذي قرص مدرج
مع اقتراح الطريقة المناسبة لربطه ثم نقول انه يعطي قراءة الفولتية والتيار والقدرة .
اما الان فمن الملاحظ مبادئ تشغيل الادوات المختلفة من الممكن فهم هذه
المشاهدات وتفسيرها كما هي . كما انه من الممكن ملاحظة التحديدات القائمة
لطرق القياس المختلفة .

ان اكثر اجهزة القياس المعتمدة هي الادوات التي تستخدم طرق المقارنة
بالرغم من انها ليست افضلها من ناحية الصيانة . ونظراً لدقتها يمكن استخدامها
كأدوات مرجعية لتعير الاجهزة اليدوية الاخرى .

واكثر هذه الاجهزة شيوعاً هو المجهد (Potentiometer)

1-17 مجهد التيار المستمر

المجهد هو عبارة عن جهاز يستخدم لمقارنة فروق الجهد . وعلى فرض ان احد فروق الجهد معروف
بدقة يمكن اشتقاق فروق الجهد الاخرى منها بالمقارنة . ومن تفسير فرق الجهد الاخير بالامكان قياس
التيار والمقاومة .



شكل 1-17 مجهد تيار مستمر بسيط

يبين الشكل 1-17 مجهداً للتيار المباشر بشكله البسيط . ان سلك الترحلق هو عبارة عن سلك منظم يمتد بين كئتين نهائيتين ثقيلتين ، وقد ربطت خلية تتحمل التشغيل الثقيل (Heavy-duty cell) عبر سلك الترحلق . ويمكن تنظيم التيار عند الحاجة بواسطة مقاومة متغيرة (Rheostat) تربط الخلية ذات الق. د. ك. المعلومة بين احدى النهائيتين والتلامس المترحلق الذي يصنع نقطة تلامس حادة مع سلك الترحلق . وقد اضيف للدائرة الاخيرة زر ومقاومة ذات قيمة عالية وكلفانوميتر

(Galvanometer) يغلق الزر فقط عندما يكون المجهد مستخدماً وذلك للمحافظة على الخلية القياسية (Reference cell) كما يحافظ المقاوم على الخلية من اية دائرة قصر . اما الكلفانوميتر فيؤش وجود التيار خلال الخلية .

نظراً لان سلك الترحلق منتظماً فان الهبوط بالفولت يكون موزعاً بانتظام على طول السلك ، ويتبع من ذلك ان فرق الجهد بين اي نقطتين على السلك يتناسب مع المسافة بينهما .

عند غلق الزر فان تياراً يمر في الكلفانوميتر . فاذا كان فرق الجهد بين A و B اكبر من الق. د. ك. للخلية القياسية فان تياراً سيمر خلال الخلية القياسية من A الى B كما ان العكس صحيح ايضاً . الا ان علينا ان نلاحظ ان الق. د. ك. للخلية القياسية تعاكس مرور التيار نظراً لان الخلية هي من النوع الذي يتحمل التشغيل الثقيل . اما اذا ساوى فرق الجهد بين A و B الق. د. ك. للخلية القياسية فان التيار يتوقف عن السريان . وهذا هو الطرف المطلوب . ولهذا السبب فاننا نحتاج الكلفانوميتر فقط لكي يبين فيما اذا كان هناك تياراً يسرى ام لا .

من ظروف التوازن اي حينما يكون التيار صفراً يمكننا ان نستنتج ان الق. د. ك. للخلية القياسية تتناسب مع الطول AC . وبقسمة الق. د. ك. على الطول AC يمكن تعبير المجهد بالفولت لكل متر . ويدعى ذلك بثابت التقييس .

بالامكان تعبير السلك مباشرة بتثبيت التلامس المترحلق في نقطة على المسطرة المكافئة للق. د. ك. القياسية . كما يمكن ضبط تيار سلك الترحلق بواسطة المقاومة المتغيرة حتى نحصل على نقطة التوازن . اذا كان هناك الان فرق جهد غير معلوم اوق. د. ك. يطلب قياسها بالامكان استبدال الخلية القياسية بتشغيل الزر كما في الشكل 3-17 . ويمكن موازنة المجهد بتحريك تلامس الترحلق ، ثم يلاحظ الطول المناسب وليكن AD . ان حاصل ضرب هذا الطول وثابت التقييس يعطي القيمة المجهولة لفرق الجهد او الق. د. ك. .

مثال (1-17) عند تقييس مجهد بسيط حصل التوازن عند الطول 600 ملم للسلك وذلك عند استخدام خلية قياسية قيمتها 1-0183 فولت . ثم استعويض عن الخلية القياسية بخلية جافة فامكن الحصول على التوازن عند الطول 850 ملم . احسب الق. د. ك. للخلية .

وعند ربط مقاوم مقداره 5 أوم عبر طرفي الخلية الجافة حصل التوازن عند الطول 750 ملم . احسب المقاومة الداخلية للخلية الجافة .

ثابت التقييس

$$\frac{1.0183}{600} = 0.001693 \text{ V/mm}$$

ق . د . ك . للخلية الجافة

$$= 0.001693 \times 850 = \underline{1.44 \text{ V}}$$

فرق الجهد عبر الحمل

$$= 0.001693 \times 750 = 1.27 \text{ V}$$

$$E = V + Ir$$

$$= V + \frac{V}{R} \cdot r$$

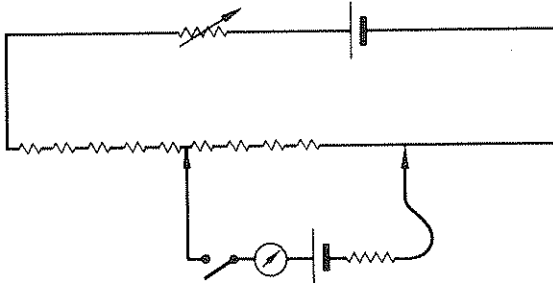
$$1.44 = 1.27 + \frac{1.27}{5} \times r$$

$$r = \underline{0.67 \Omega}$$

من الضروري اخذ بعض الاحتياطات عند تشغيل المجهاد ، فخلية التشغيل الثقيل يجب ان تشحن ما فيه الكفاية لكي تبقى الق . د . ك . لها غير متغيرة أثناء القياسات كما أن درجة حرارة الدائرة يجب أن يسمح لها لتستقر قبل اخذ اية قياسات .

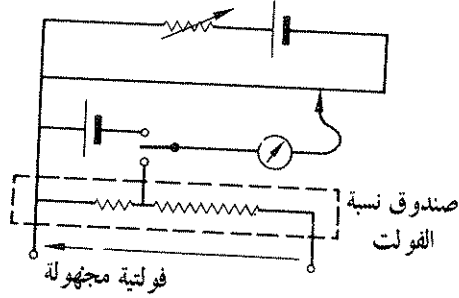
ان الخلية المرجعية او القياسية لا يمكن الاعتماد عليها اذا سمح لها بامراري تيار ملموس . وان أكثر خلية شائعة هي خلية ويستن (Weston cell) . والتي قوتها الدافعة الكهربائية تساوي 1.0183 فولت في درجة حرارة 20° م . كما انه من الاعتيادي ان يشار الى عامل تصحيح (correction factor) للسماح لدرجة الحرارة . ولهذا السبب فان المجهاد يجب تقيسه قبل استخدامه في كل فترة .

عند موازنة المجهاد فانه لا يسحب تياراً من المصدر المطلوب قياس قوته الدافعة الكهربائية او فرق جهده . وفي هذه الحالة فان البطارية تقاس قوتها الدافعة الكهربائية لدائرتها المفتوحة . ان دقة المجهاد تعتمد على طول سلك الترحيق المستخدم وان أكثر المجاهيد (potentiometers) الصناعية تحصل على تأثير السلك الطويل جداً بربط عدد من المقاومات على التوالي مع سلك قصير نسبياً . ويكون لكل مقاوم نفس مقاومة السلك ، ويمكن لوضعية بسيطة ان تعطي دقة متزايدة لعشرة مرات كما موضح في الشكل 2.17 .



شكل 2.17 مجهد تيار مستمر محسن

ان أحد مساويء المجهود هو عدم امكانية استخدامه لقياس فرق جهد اوق . د . ك . أكبر من ق . د . ك .
 خلية التشغيل الثقيل . أما اذا طلب قياس فولتيات أكبر فمن الضروري استخدام صندوق نسبة الفولت
 (Volt Ratio Box) كما في الدائرة المبينة في شكل 3-17 .



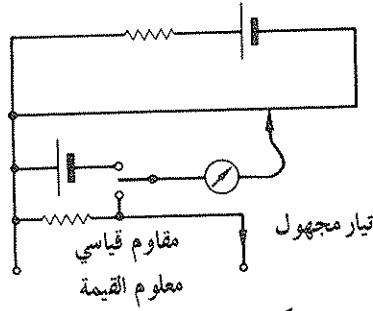
شكل 3-17 قياس فولتية باستخدام صندوق

يحتوي صندوق نسبة الفولت على مقاومات ذات قيمة عالية متفرعة في نقاط معلومة . لذلك فان الفولتية المراد قياسها تكون جزءاً معلوماً من الفولتية المسلطة على الصندوق كما يجب ان نلاحظ ان المجهود لا يسحب أي تيار من صندوق نسبة الفولت . لذلك لا تتأثر نسبة الصندوق بتأناً .

ان احد مساويء صندوق نسبة الفولت انه يحتاج الى تيار معلوم ليمر خلاله . وفي حالة قياس الق . د . ك . فان مرور التيار يعني ان هناك هبوطاً داخلياً بالفولت ومن ثم فان القيمة المقاسة تكون أقل من الق . د . ك . الحقيقية . الا انه اذا كانت مقاومة صندوق نسبة الفولت عالية ما فيه الكفاية فان الخطأ الناتج يكون صغيراً . ان المقاومة لا يمكن ان تكون عالية جداً نظراً لأنها لا تسمح بعد ذلك بتيار كافي ليمر في الكلفانوميتر حينما لا يكون المجهود في نقطة التوازن . كما ان هناك مشكلة مشابهة يمكن ان تحدث عند قياس فرق الجهد .

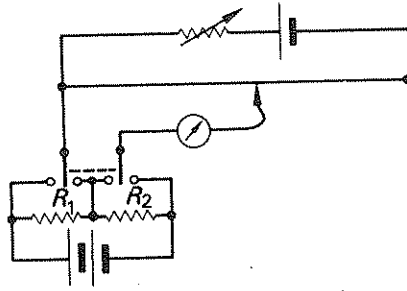
ان المجهود وهو جهاز كبير نسبياً . ولذلك لا يكون سهل النقل ، كما انه يحتاج بعض الوقت لاختد القياسات . ان احد استخداماته نظراً لدقته العالية الممكنة هو لتعبير اجهزة القياس السهل نقلها . لذلك يمكن تعبير فولتمتر بربطه عبر صندوق نسبة الفولت المبين في شكل 3-17 . وحينما يغذي الصندوق من مصدر متغير الفولتية حيث يضبط المصدر حتى يؤثر الجهاز القيمة المطلوبة . وعند ابقاء فولتية المصدر ثابتة يقاس فرق الجهد بالمجهود والذي يمكن منه اشتقاق الخطأ في قراءة الفولتمتر ثم تعاد هذه العملية لتأشيرات مختلفة مناسبة على قرص تأشير الفولتمتر .

يمكن تحويل المجهود لقياس التيار أيضاً . فعند امرار التيار في مقاومة معلومة يقاس الهبوط الناتج بالفولت ثم يسحب التيار من قيم هبوط الفولت والمقاومة . يبين الشكل 4-17 الدائرة المستخدمة .



شكل 4-17 قياس التيار بالمجهاد

ان الاستخدام الاعتيادي لهذه الوسيلة هو لفرض تعبير الاميترات (Ammeters) ، حيث يربط الاميتر على التوالي مع مقاوم ثم يضبط التيار لكي يعطي تأشيراً مناسباً على الاميتر . ويقاس التيار بدقة على المجهاد ثم يحسب الخطأ في الاميتر ، وتعاد العملية لتأشيرات مناسبة أخرى .
يستخدم المجهاد اعتيادياً كأداة لمقارنة الفولتيات ولكن بالإمكان استعماله لمقارنة المقاومات باستخدام الدائرة المبينة في شكل 5-17



شكل 5-17 مقارنة مقاومين بالمجهاد

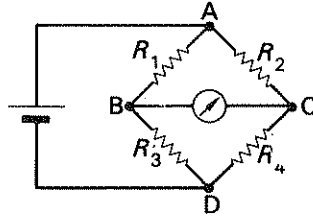
إذا مر تيار خلال المقاومات فإن نسبة فروق الجهد عبر المقاومات تساوي نسبة هذه المقاومات . وعلى فرض ان إحدى المقاومات تكون معلومة يمكن قياس المقاومة الأخرى لأن النسبة تكون أيضاً مساوية للاطوال مقاسة على سلك الترحاق في ظروف التوازن .
إذا كان l_1 و l_2 هما طولاً التوازن للمقاومتين R_1 و R_2 فإن

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2} \quad (17.1)$$

لاحظ انه لاحاجة الى خلية قياسية نظراً لان المجهود غير مقيس ، الا ان المصادر يجب ان تبقى ثابتة أثناء فترة اجراء المقارنة . وهذه الطريقة يمكن ان تكون طويلة نسبياً لذلك فالاسهل مقارنة المقاومات باستخدام قنطرة ويتستون .

2.17 قنطرة ويتستون (Wheatstone Bridge)

ان أي دائرة مكونة كما في الشكل 6.17 تدعى بدائرة قنطرة ، على فرض ان المصدر مربوط لزوج من الأطراف المتقابلة والحمل مربوط بالزوج الاخر .
 ففي قنطرة قياس كقنطرة ويتستون مثلاً يكون احد الأذرع متغيراً . وبضبط مناسب يمكن الحصول على تأثير على الكلفانوميتر مقداره صفراً . وعندها يقال ان القنطرة متوازنة . ان قنطرة ويتستون هي أبسط القناطر نظراً لأنها تستخدم مقاومات فقط فهي تغذى بفولتية مستمرة من الطرفين A و D مثلاً وتلاحظ ظروف التوازن من طرفي القنطرة B و C .
 من الملاحظ ان الكلفانوميتر يخدم فقط للكشف عن وجود تيار في التوصيلة CB ومن ثم يسمى بالمكشاف (Defector) ولغرض حماية المكشاف فان مقاوم متوازي متغير (غير مبيّن بالرسم) يربط عادة عبره ومن ثم يكون ممراً جانبياً (Bypass) للمكشاف الى حد ما . ان المقاومة المتوازية تردان عند الاقتراب من التوازن وتكون مفتوحة الدائرة احياناً . ان الحماية ضرورية نظراً لان المكشاف هو جهاز دقيق ويمكن ان تكون حساسيته عالية جداً .



شكل 6.17 قنطرة ويتستون

لنفرض ان R_1 هي المقاومة المجهولة المطلوب قياسها ، فتكون R_2 مقاومة متغيرة مدرجة (graduated variable resistor) (وتكون عادة صندوق مقاومات عشري) ، بينما المقاومان R_3 و R_4 هما مقاومان قيمتهما يمكن ان تكونا 1 و 10 و 100 و 1000 أوم . تضبط R_2 الى حين حصول على أفضل توازن ممكن وحينما يعطي المكشاف انحرافاً مقداره صفراً فان الجهد في B يكون هو نفس الجهد في C ومن ثم

$$V_{AB} = V_{AC}$$

$$V_{BD} = V_{CD}$$

وكذلك

إذا كان التيار في R_1 هو I_1 والتيار في R_2 هو I_2 فإنه

$$I_1 R_1 = I_2 R_2$$

ونظراً لأن تيار المكشاف يساوي صفرًا فإن التيار I_1 يسرى في R_3 و I_2 يسرى في R_4 ومن ثم

$$I_1 R_3 = I_2 R_4$$

$$\frac{I_1 R_1}{I_1 R_3} = \frac{I_2 R_2}{I_2 R_4}$$

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

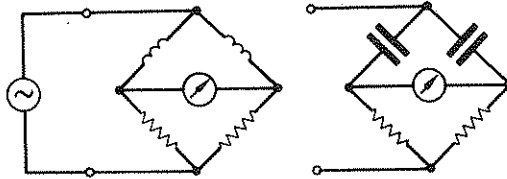
$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

$$R_1 = \frac{R_3}{R_4} \cdot R_2 \quad (17.2)$$

لاحظ ان ضلعي القنطرة الجاويين على R_3 و R_4 يسميان بذراعي النسبة وتختار القيم بحيث تستخدم كافة اعشار R_2 اذا كان ذلك ممكناً لكي يمكن الحصول على أفضل دقة ممكنة . ان القنطرة يمكن ان تقيس مقاومات أكبر من 0.1 أوم ، بينما يمكن استخدام المجهاد لقيم اوطأ من ذلك .

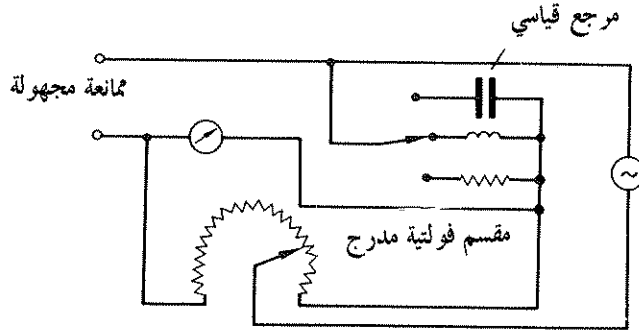
3-17 القنطرة العامة (Universal Bridge)

يمكن استخدام قنطرة ويتستون مزودة بالتيار المتناوب على شرط استخدام مكشاف مناسب كالكلفانوميتر المتذبذب أو الفولتميتر الالكتروني أو مرسمة التذبذبات (Oscilloscope) . وهذا التغيير لا يخدم أي فائدة عامة في قياس المقاومات ولكنه يسمح بقياس المحاثات والسعات . ان قنطرة مقاومة بسيطة كقنطرة ماكسويل (Maxwell Bridge) مبيّنة في شكل 7-17 حيث استبدل ذراعي المقاومة المجهولة والمتغيرة بذراعيين سعويين او حثيين .



شكل 7-17 قنطرة ماكسويل

تستخدم هذه القناطر تردداً عالياً مثلاً مصدر 1 كيلوهرتز بدلاً من تشغيلها بمصدر التردد الصناعي ، حيث ان ذلك يعطي استجابة مناسبة من كل من المحثات والمتسعات ان احد اجهزة الفحص الشائعة والذي يحوي خواص كل من قنطرتي ويتستون وماكسويل والذي يمكن بواسطته قياس المقاومات والمحاثات والسعات مبين في الشكل 8-17 ويدعى بالقنطرة العامة .



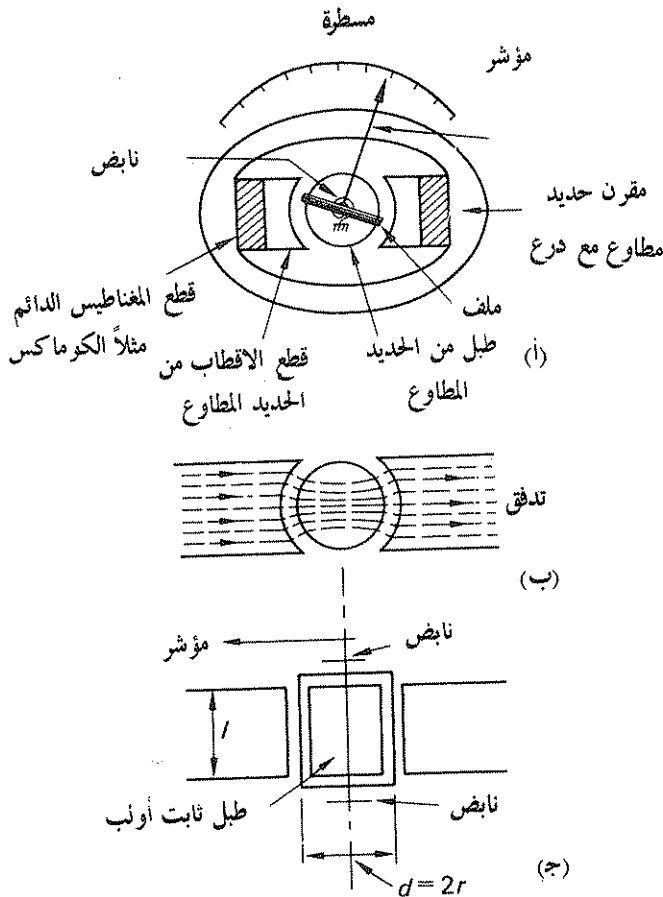
شكل 8-17 قنطرة عامة بسيطة

في هذه الوضعية يمكن الحصول على التوازن بتفريغ اداة مجهاد ومن ثم تغيير اذرع النسبة . ان مسطرة المجهاد تسمح بقراءة النسبة من تأشيرها وهذا يعطي فائدتين
أ- تكون القنطرة اسهل في تشغيلها
ب- يمكن استخدام مكونات مرجعية ثابتة القيمة والتي تكون رخيصة جداً .
ان قنطرة بسيطة كهذه لا يمكنها قياس مقاومة ومحاثة وسعة بنفس الوقت . أما اذا كان ذلك مطلوباً فان نظاماً أكثر تعقيداً من ناحية الدوائر يجب استخدامه . وهذه تكون عادة بشكل قناطر تجارية عامة ذات كفاءة جيدة وتعمل وفق نفس اساس التشغيل السابقة .

4-17 جهاز متحرك الملف (Moving-coil Instrument)

ان وظيفة الكلفانوميتر في مجهاد التيار المستمر وفي قنطرة ويتستون هي الكشف عن وجود تيار مستمر . ويكون عادة على شكل جهاز متحرك الملف .
ان الملف المتحرك والذي اشتقت منه تسمية الجهاز يوضع في مجال مغناطيسي من مغناطيس دائمي بوضعية بحيث يكون مرور التيار خلال الملف مولداً «العزم» ومن ثم فان الملف يزاح دورانياً معاكساً لعزم مثبت (Restraining torque) ناتج من نوابض سيطرة النظام الي الدرجة المحددة بتيار الملف .
ان هذا التأثير يمكن تعبيره واعطاء تأشيريات مناسبة على المقياس بحركة المؤشر . وان وضعية نموذجية لهذا الجهاز مبينة في شكل 9-17 .

ان الملف المصنوع مستطيل الشكل يكون مركباً محورياً على محور الدوران (spindle) ويركب بدوره على محامل (bearings) من الماس او على الاقل محامل ابرية للتقليل من الاحتكاك والتآكل لذلك فان الملف يتعرض الى مجال منتظم نسبياً ويكون حر الدوران حول لب اسطواني ثابت . وتشكل قطع القطب بحيث تعطي مجالاً مغناطيسياً منتظماً في الفجوات الهوائية كما يلاحظ في الشكل 9-17 ب .



شكل 9-17 جهاز الملف المتحرك

ان التثبيت يكون ناتجاً من نابضين من البرنز والفوسفور والملفوفين حلزونياً كل منهما على احد طرفي محور الدوران ويكون لهما بعكس الاتجاه ، كما انهما يعبران لكي يتوازنا حينما يقرأ المؤشر صفراً على المقياس . أما العزم الناتج فيتناسب مع الانحراف .

نظراً لأن توصيلات الموصل إلى الملف تنتج عزمًا إضافيًا إلى النظام المتحرك فإن تيار الملف يمرر خلال نوابض التثبيت .

لغرض تحليل العزم الناتج من الملف نفرض أن تيار الملف يساوي I ، وأنه ينتج انحرافاً مقداره θ . نفرض أيضاً أن عامل النابض يساوي K متمثلاً بالنيوتن متر لكل وحدة انحراف . وكما لاحظنا أعلاه فإن هذا يكون هو ثابت مجموعة النابض لذلك لانحراف مقداره θ

$$K\theta = \text{عزم تثبيت النابض}$$

= العزم من قبل الملف حينما يصل الجهاز ظروف وضع الاستقرار ويكون ساكناً .

يعمل الجهاز على مبدأ الفعل المتداخل بين الموصل الحامل للتيار (والمجال) وعلى فرض أن ضلعي الملف لا يكونان قريبين من حافتي القطبين فإن الوضعية تكون متماثلة .

ويمكن تطبيق العلاقة $F = Bli$ باستخدام كثافة تدفق الفجوة الناتجة من المغناطيس الدائمي لوحده . باستخدام الأبعاد المبينة في شكل 9-17 ج لذلك فإنه الملف ذو لفة واحدة

$$Bli = \text{القوة على كل من ضلعي الملف}$$

$$Bllr = \text{العزم على كل من ضلعي الملف}$$

$$\frac{Bll^2}{2} =$$

أن هذا العزم ينتجه كل ضلع من ضلعي أي لفة من لفات الملف لذلك إذا كان عدد لفات ملف ما يساوي N فإنه يتعرض إلى عزم مقداره

$$M = \frac{2NBll^2}{2}$$

نظراً لأن كل لفة تحتوي على ضلعين ومن ثم

$$M = NBll^2$$

(17.3)

وهنا يجب أن نلاحظ أن العدد الكلي لا ضلاع الملف يكون فردياً نظراً لأن التوصيلات الكهربائية تتم بواسطة النابضين وهذا يولد تأثيراً غريباً في أن مجموع لفات الملف يكون عدداً صحيحاً مضافاً له نصف مثلاً 50.5 لفة .

عند التوازن

$$K\theta = NBll^2$$

$$\theta = \frac{NBll^2}{K} \cdot I$$

ويدعى الحد $NBll^2/K$ بحساسية الكلفانوميتر .

تبقى هذه الحساسية ثابتة في معظم تأثيرات المسطرة المدرجة (indicating scale) ويكون العزم متناسباً مع التيار . لذلك فإن المسطرة المدرجة تكون خطية فيما عدا النهايتين بسبب عدم تناظر المجال المغناطيسي . وهذا التأثير صغير جداً حيث يلاحظ أن الجهاز يكون ذا تدرج خطي منتظم .

حينما يحث الجهاز في البداية فان حركته تدور وأثناء هذا الدوران تكتسب استمرارية معينة. واذا كان هناك تأثيرات لعزمي الدوران والترجيع فقط فان فترة زمنية ستمر قبل ان تصل الحركة الى وضع السكون . ان بالامكان ابقاء الاهتزاز حول متوسط التأشير نتيجة التغير المستمر في مصدر المقياس . ولغرض ان يكون التشغيل مرضياً فان الجهاز يجب ان يتحرك بسرعة الى الانحراف المتوسط ويصل الى السكون . ان ذلك يحتاج الى عزم مضائل (Damping Torque) ، والذي يعاكس الحركة وينتهي عند انتهائها . وفي اجهزة الملف المتحرك يستخدم مضائل كهرومغناطيسي حيث يلف الملف على تشكيلة (former) مصنوعة من الالنيوم مثلاً . ومن ثم فان حركة هذه التشكيلة خلال مجال مغناطيسي تحث ق.د.ك. ومن ثم يحث تيار دوامي في التشكيلة . ان هذا التأثير ينتج وفق قانون لنزوي يعاكس أي تغيير ومن ثم ينتج التيار الدوامي عزمًا يعاكس الحركة . وهذا العزم المضائل يتناسب ايضاً مع السرعة الزاوية ومن ثم ينعدم العزم عند توقف الحركة . ان التشكيلة تصمم لكي تسمح بالحركة فوق التجاوز (overshoot) لمتوسط الوضع مبدئياً ، وذلك لكي لا يكون الجهاز معوقاً للحركة عند اول وهلة . ان التركيب الموصوف اعلاه يكون حساساً بشكل معقول . ولكن بالامكان ان يكون أكثر حساسية ، فمثلاً يمكن ان يكون الملف معلقاً على فايبر (fibre) رفيع والذي لا يمكن ان يسند وضعية مؤشر . لذلك فانه يمكن الحصول على التأشير بواسطة حزمة ضوئية باستخدام مرآة . وهذا الشكل من التركيب موصوف في الفقرة 15-17

مثال (2-17)

جهاز ذوملف متحرك بمغناطيس دائم يعطي انحراف تأشير تام مقداره 60° حينما يكون تيار الملف 10 ملي أمبير . اذا كانت كثافة التدفق النصف قطري المنتظم في الفجوة الهوائية تساوي 0.25 تيسلا وكان الطول الفعال للملف المستطيل يساوي 2.5 سم وقطره الفعال 1 سم وثابت النابض يساوي 1×10^{-6} نيوتن متر لكل درجة . احسب عدد لفات الملف . باستخدام الاشارات والتركيب المناسب للشكل 9-17

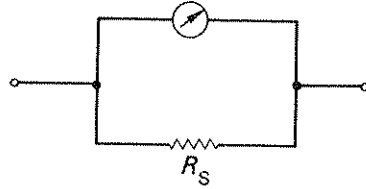
$$\begin{aligned} \text{عزم الترجيع} &= K\theta = 1 \times 10^{-6} \times 60 \\ &= 60 \times 10^{-6} \text{ Nm} \\ \text{عزم الانحراف} &= 2NBllr \\ &= 2 \times N \times 0.25 \times 2.5 \times 10^{-2} \times 10 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{-2} \\ &= 60 \times 10^{-6} \\ N &= 48.0 \end{aligned}$$

ولكن عدد اللفات يجب ان يكون عدداً صحيحاً مضافاً اليه نصف وبزيادة العدد الى القيمة التالية يكون عدد اللفات المطلوبة 48.5 لفة .

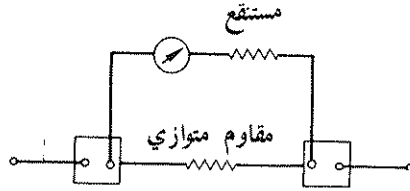
5-17 توسيع المدى

يصنع الملف المتحرك في الجهاز من سلك رفيع ، لذلك لا يمكنه سوى امرار تيار صغير جداً . ان حركة نموذجية تمررتياراً لا يزيد عن 20 ملي أمبير ولا تزيد مقاومة الملف فيه عن 5 أوم بالرغم من أن قيماً أكبر من ذلك ممكنة من الناحية العملية . ان الحركة الاساسية لذلك يمكن تعييرها لهذا المدى من التيار فقط .

يمكن توسيع المدى بربط مقاوم R_s على التوازي مع الحركة كما مبين في الشكل 10-17 . ثم يتم تعيير مسطرة التأشير وفق التيار الكلي المسحوب من قبل المنظومة .



(أ) اميتر بسيط



(ب) دائرة اميتر

شكل 10-17 اميتر متحرك الملف

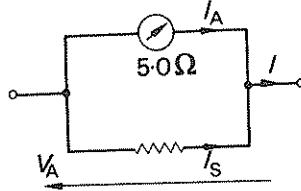
وتصنع المقاومة المتوازية من المنكبين أو من مادة مشابهة ذات معامل درجة حرارة للمقاومة مهمل . ان هذا ينتج خطأ نتيجة تغير درجة الحرارة نظراً لأن السلك المتحرك للملف النحاسي تتغير مقاومته . ويمكن التغلب على هذا التأثير بربط مقاومة مصنوعة من مادة مشابهة لمادة المقاومة المتوازية على التوالي مع الملف وتكون المقاومة الاخيرة حوالي ثلاثة أمثال مقاومة الملف لكي تقلل من الخطأ إلى الربع تقريبا بالنسبة لما كان عليه الحال بدونها .

ان المقاومة المتوازية تجهز باربعة اطراف كما مبين في الشكل 10-17 ب ونظراً لان المقاومة المتوازية صغيرة جداً ، فان مقاومة الاطراف يمكن ان تكون مهمة .

ويعمل اطراف منفصلة للجهاز المتحرك فان المقاومة التي تبديها المقاومة المتوازية بالنسبة الى الملف المتحرك والمقاوم المسمى بمقاوم المستقيم Swamp resistor تكون ثابتة . ان مما يجب ملاحظته ان مقاومة

الاطراف للمقاومة المتوازية مهمة جداً وان هذه الاطراف يجب ان تنظف على الدوام . كما ان وضعية مشابهة لمقاوم ذي اربعة اطراف يستخدم في المجهاد عند قياس المقاومة .

مثال (3-17) جهاز ذو ملف متحرك يحوي مقاومة مقدارها 5 أوم ويعطي انحراف مقياس تام يمر فيه تيار مقداره 5 ملي امبير . يطلب تحويله الى اميتر ذي انحراف تام في المقياس مقداره 5 أمبير . احسب المقاومة المتوازية المطلوبة .

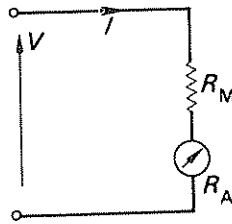


شكل 11-17

$$\begin{aligned}
 I &= 5.0 \text{ A} \\
 I_A &= 5 \times 10^{-3} \text{ A} \\
 I_S &= I - I_A \\
 &= 5 - 5 \times 10^{-3} = 4.995 \text{ A} \\
 V_A &= I_A R_A = 5 \times 10^{-3} \times 5 \\
 &= 25 \times 10^{-3} \text{ V} \\
 R_S &= \frac{V_A}{I_S} = \frac{25 \times 10^{-3}}{4.995} \\
 &= 0.005 \text{ } 015 \Omega
 \end{aligned}$$

لموصلات معينة تكون الفولتية عبر الموصلات متناسبة مع التيار ، ونظراً لأن دائرة حركة الجهاز هي معدنية ينتج من ذلك ان المقياس يمكن تعبيره بالفولت . الا انه لقيم التيار والمقاومة المحددة لحركة نموذجية كالمعطاة اعلاه يتبين ان الفولتية المقاسة تكون صغيرة جداً . ويمكن توسيع المدى باستخدام مقاوم على التوالي يدعى بالمضاعف (Multiplier) . يبين الشكل 12-17 هذه الوضعية .

ان المقاومة الكلية للفولتيميتر بين طرفيه تتحدد بمجموع المضاعف ومقاومات الأجزاء المتحركة وأحياناً يستخدم هذا لاعطاء رقم الاستحقاق (Figure of Merit) للمقياس بتقسيم المقاومة على فولتية انحراف أعلى تأشير ، لذلك فان هذا الرقم يعطي بالاًوم لكل فولت .



شكل 12-17 فولتيميتر متحرك الملف

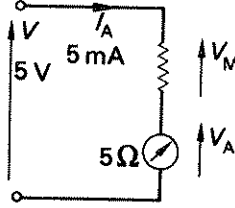
ان مما يجب ملاحظته ان رقم الاستحقاق يعطي بالمعادلة :

$$\frac{R_M + R_A}{V} = \frac{1}{I}$$

وينتج من ذلك ان المقياس يحتاج الى 1 ملي امبير لانحراف التأشير التام ليكون رقم الاستحقاق له

$$\begin{aligned} \frac{1}{I} &= \frac{1}{1 \times 10^{-3}} \\ &= 1000 \Omega/V \end{aligned}$$

علماً بأنه ليس هناك حاجة الى مقاوم مستتق في الفولتميتر نظراً لأن المضاعف يخدم هذا الغرض .
مثال (4-17) بالرجوع الى نفس جهاز الملف المتحرك في المثال 3-17 يطلب استخدامه كفولتميتر
تأشير تام مقداره 5 فولت . احسب المقاومة المطلوبة للمضاعف .



شكل 13-17

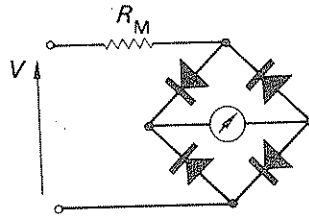
كما سبق $V_A = I_A R_A = 5 \times 10^{-3} \times 5$
 $= 25 \times 10^{-3} \text{ V}$

$$\begin{aligned} V_M &= V - V_A = 5 - (25 \times 10^{-3}) \\ &= 4.975 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_M &= \frac{V_M}{I_A} = \frac{4.975}{0.005} \\ &= \underline{\underline{995 \Omega}} \end{aligned}$$

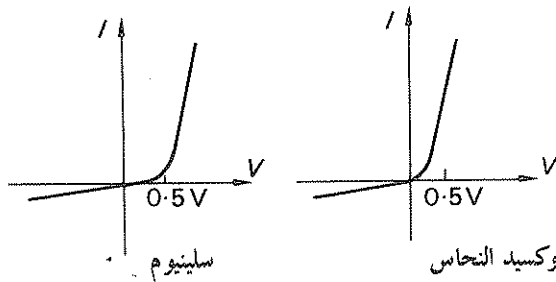
6.17 المقياس المقوم (Rectifier Meter)

بينما يحوي جهاز الملف المتحرك على بعض الفوائد لكونه ذا حساسية عالية وذا تأشير خطي فإن له مساوئ في ان سرعه عال ويشغل بالتيار المستمر فقط . اذا عكس التيار فان الانحراف ينعكس أيضاً . واذا أمرر تيار متناوب خلال الجهاز فان العزم المتوسط على الحركة يكون صفراً ، حيث ان الملف يسحب ميدتياً تياراً باتجاه معين ثم بالاتجاه الاخر . الا انه عند تقويم التيار المتناوب بقطرة صمام ثنائي فان التيار المستمر الناتج يعطي انحرافاً مناسباً للجهاز ويبين الشكل 14.17 هذه الدائره .



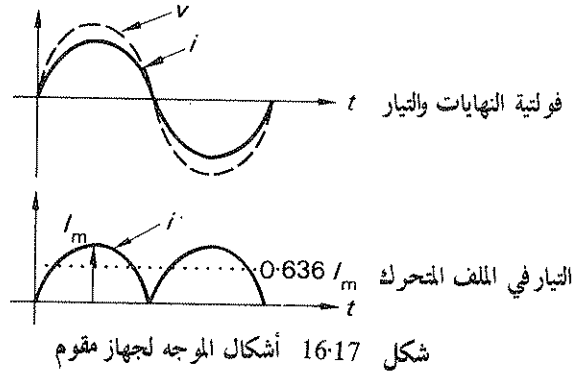
شكل 14.17 جهاز مقوم

ويعطي المقوم من الناحية المتالية مقاومة مقدارها صفراً لسريان التيار في اتجاه واحد ومقاومة لا نهائية في الاتجاه الآخر . فبينما يمكن توفير الشرط الأخير تقريباً فان الشرط الأول يصعب تحقيقه . حيث ان هذه المشكلة تظهر جزئياً لوجود مقاومة امامية محددة ، الا ان السبب الرئيسي لظهورها هو ضرورة الوصول الى فولتية معينة قبل ان يبدأ أي توصيل محسوس بالحدوث . ان أفضل عناصر تقويم هي اوكسيد النحاس والسيلينيوم نظراً لأن الفولتيات التي يبدأ عندها التوصيل تكون واطئة . يبين الشكل 15.17 المميزات المناسبة لذلك . فخلال التوصيل الأمامي تعطي نسبة الفولتية الى التيار مقاومة المقوم . ونظراً لأن المميزات منحنية في كلتا الحالتين فان المقاومة لا تكون ثابتة . وهذا يسبب ان تكون المقاومة الكلية للجهاز متغيرة . ويمكن زحزحة هذا التأثير بمقاوم مستنقع ومن ثم يكون جهاز المقوم ذا تأشير أكثر خطية حينما يشغل كفو لتميتر عما هو عليه الحال حينما يشغل كأميتر .



شكل 15.17 مميزات الفولتية / التيار لعناصر مقوم

بسبب الموضع السفلي للانحناء في مميزات المقوم اوكسيد النحاس فان هذا النوع يكون مفضلاً عن السيلينيوم . اما الاخير فيمكن استخدامه في دوائر القدرة الاعلى .
 نظراً لأن دائرة قنطرة المقوم تستخدم في هذه الحالة فان التيار في ملف المقياس يكون ذا شكل كالمبين في الشكل 16-17 . لقد سبق ان بينا في الفصل 14 ان القيمة المتوسطة لهذا التيار هي 0.636 من القيمة العظمى لذلك يتناسب العزم مع I_m 0.636 الا ان المقياس يستخدم لقياس كمية متناوبة ومن ثم يجب تعبيره لقيم ج.م.ت ، لذلك يكون تأثير الكميات الجيبية يساوي 1.11 مرة بقدر القيمة المتوسطة المسطرة على الجزء المتحرك .
 ان الرقم 1.11 هو عامل شكل الموجة الجيبية . لكن هناك احد المساوئ الناتجة من ذلك وهي ضرورة استخدام هذا الجهاز لقياس كميات جيبية فقط .



تكون الفولتية العكسية عبر أي عنصر صمام ثنائي منفرد في قنطرة المقوم لا تتجاوز مجموع الفولتية عبر جهاز الملف المتحرك مضافاً إليها الهبوط الأمامي بالفولت عبر عنصر التوصيل . ان مقاومة المقوم الأمامي ناتجة من عنصرين في اية لحظة . ويكون الخطأ الناتج نتيجة الاخطية والتي يمكن اهمالها في تطبيقات الفولتميتر الذي مداه فوق الـ 50 فولت .
 وخلاصة ذلك ان مقياس المقوم يحوي فوائد جهاز الملف المتحرك لحد معقول كما ان له فائدة أخرى في امكانية عمله بترددات عالية نسبياً (الى حد 100 كيلوهرتز) دون أي تغير محسوس في الخطأ . كما يمكن توسيع المدى الى 1 جيكا هرتز باستخدام صمامات ثنائية سيليكونية ذات نقطة تلامس . وهذه الفوائد تختفي في حالة عدم اشتغال المقياس من مصدر جيبى .

7-17 جهاز الفحص متعدد الامداء (Multi-range)

ان هذا الجهاز هو احد اكثر الأدوات شيوعاً بالنسبة للمهندس الكهربائي ، حيث يعتمد على نظرية متحرك الملف والذي يمكن تنظيمه بادارة زر سيطرة لكي يقرأ الفولتيات والتيارات المتناوبة والمستمرة . تتضمن مديات التيار المستمر ادارة الازرار الى المقاومات المتوازية والمضاعفات بقيم عظمى تساوي 10

أسيرو 1000 فولت باختيار اربع تدرجات أو أكثر لكل من التيار والفولتية . وتتضمن امداء التيار المتناوب استخدام قنطرة مقوم . ولغرض عمل تأشيريات المقياس مشابهة لتأشيريات التيار المستمر اضافة الى امكانية الحصول على قراءة قيم ج. م. ت. فانه يكون من الضروري استخدام مقاوومات متوازية ومضاعفات مختلفة لتدرجات التيار المتناوب . ويكون الاختيار المعطى مشابهاً لاختيار امداء التيار المستمر . في بعض مقاييس الفحص يستخدم محول تيار عند قياس التيارات المتناوبة وتعطي هذه المقاييس تأشيراً في التيار المتناوب فقط كما انها تولد عنصر محثي يمكن ان يكون مهماً في الترددات العالية .

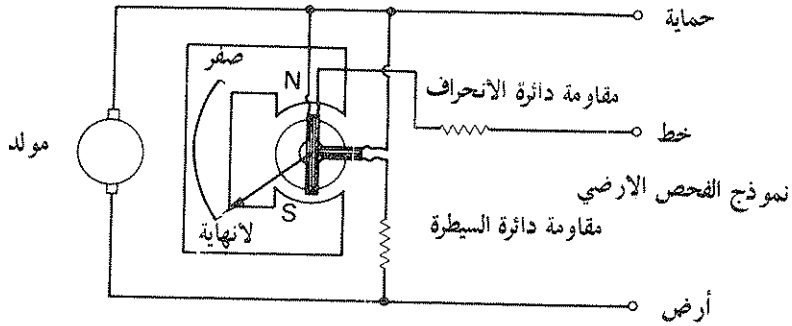
ان كثيراً من مقاييس الفحص تحتوي على بطارية تستخدم كمصدر لـ ق. د. ك. ، وحينما تسلط هذه الدق. د. ك. على دائرة فان تياراً ينتج كمقياس لمقاومة الدائرة ومن ثم يمكن تعبير المقياس بما يناسب ذلك . وما يجب ملاحظته ان اكبر انحراف يحدث حينما تكون مقاومة الدائرة صفرأ . لذلك فان التأشير يزداد بعكس اتجاه تأشيريات الفولتية والتيار . كما انه عند استخدام الجهاز بهذه الطريقة اي كأوميتر (Ohmmeter) فان قطبية الطرفين تتعكس ، وذلك ضروري لسريان التيار بالاتجاه المناسب لحركة المقياس . ان مقياس الفحص كأى مقياس اخر يجب ان يحتوي على مؤشر يبين نقطة الصفر قبل الاستخدام . ويتم ذلك بألية لولب لا مركزي (Eccentric screw mechanism) يمكنه تنظيم احد النوايض المثبته . وان توازناً مناسباً للنوايض المثبته يمكن ان يجلب الابرة الى السكون في النقطة المؤشرة بالصفير حينما يكون هناك اي تيار مارفي الجهاز . وهذا التعبير لا يمكن ان يتم لتصغير المقياس عند استخدامه لمقياس مقاومة . ولكن بدلاً من ذلك تربط مقاوومات متغيرة في دائرة البطارية لكي يؤشر المؤشر مقاومة مقدارها صفراً حينما يربط الطرفان بدائرة قصور ويدعى ذلك بانحراف التأشير التام . يستخدم مقياس الفحص متعدد الامداء نفس التأشيريات قدر الامكان على واجهته لكل من الفولتية والتيار . ويكون ذلك ممكناً نظراً لخطة مجموعة الملف المتحرك . الا ان تأثير المقوومات على قياسات التيار المتناوب تغير من هذه الخطة . ويكون بعد ذلك من الضروري عمل مجموعات اخرى من التدرجات للفولتيات والتيارات المتناوبة الصغيرة . وان ذلك يؤدي الى تدرجات معقدة لمقاييس الفحص لحد ما وهذه المضار يقابلها كون المقياس مجمعاً اضافة لكون ارقام الاستحقاق له عالية فيمكن الحصول مثلاً على 20 كيلو امبير لكل فولت . وخلاصة القول فان المقياس مفيد جداً ويمكن استخدامه في تطبيقات ذات امداء مختلفة وبدقة موثوق بها .

8-17 مقياس فحص العزل

لاغراض قياس العزل والذي تزيد فيه المقاومة عن 1 ميكا أوم فان جهاز الفحص متعدد الامداء يكون ذا فائدة قليلة نظراً لانه يستخدم فولتية واطئة في دائرة قياس المقاومة .

ان فولتية عالية تسبب تياراً كافياً لكي يعطي تأشيراً على جهاز متحرك الملف يمكن الحصول عليها بطريقتين :

- 1 . من مولد للتيار المستمر .
 - 2 . من جهاز (عاكس الكتروني / مقوم)
- ان جهاز الميكر (Megger) هو نموذج للمجموعة الاولى حيث يحتوي على مولد للتيار المستمر يتار بواسطة مغناطيس دائمي . وتدار الماكنة باليد بواسطة سيطرة قابض (controlled clutch) والذي يتزحلق في سرعة معينة معطياً فولتية مستقرة . ان نماذج فولتيات الاخراج لمقاييس الفحص هي 250 و 500 و 1000 و 2500 فولت .
- يحتوي الجهاز على ملفين ، يغذى احدهما مباشرة من المولد كما في الشكل 17-17 وتقاس مقاومة العازل بربطها على التوالي مع الملف الآخر ويدعى هذان الملفان بملفي السيطرة والانحراف على التعاقب .

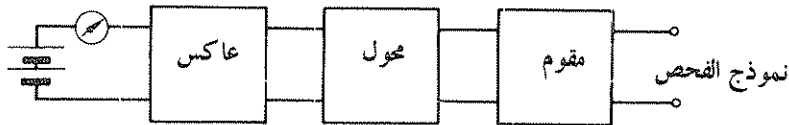


شكل 17-17

إذا غدى ملف السيطرة بالطاقة فقط فان الحركة تصل الى السكون حينما يكون محور الملف باستقامة مجال المغناطيس الدائم ، وعندها تؤثر الابرّة الى مقاومة لانهاية نظراً لان هذه المقاومة هي المقاومة الفعالة الداخلية في الدائرة الأخرى .

وعند ربط مقاومة أخرى ذات قيمة واطئة على التوالي مع الدائرة فان تياراً يمر في ملف الانحراف ويؤدي العزم الناتج الى تحريك الجهاز . ان موضع التوازن بين العزم يمكن الحصول عليه ويكون انحراف التأشير وفق قيمة مقاومة العزل المدخلة ويكون التعبير عادة بالميكروم .

يستخدم جهاز الفحص الالكتروني بطارية كمصدر للطاقة حيث يتم تبديل التيار المستمر الى تيار متناوب بواسطة دائرة مقطع (chopper) ترانزستري ، ويغذى ذلك الى محول يرفع الفولتية ثم تقوم اشارة الفولتية العالية مرة ثانية الى تيار مستمر يكون عادة 250 أو 500 أو 1000 فولت . ويمكن الحصول على تأشير عن المقاومة المربوطة عبر طرفي الاخراج وفق التيار المسحوب من البطارية بواسطة العاكس ان شكلاً تخطيطياً لمثل هذا الجهاز مبين في الشكل 18-17 .



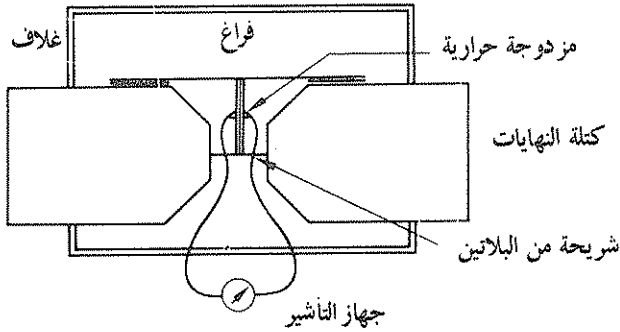
شكل 18-17 مقياس فحص العازل الالكتروني

ان مقياس الفحص الالكتروني له فائدة في انه يكون اصغر بكثير من ذلك المستخدم كجهاز توليد يدوي وبذلك يكون اسهل للنقل . الا ان هذه الفائدة تمحوها عدم قابليته على تجهيز طاقة كبيرة للجهاز المفحوص فمثلاً عند فحص قابلو (cable) يجب شحن القابلو لزم من ما بجهاز الفحص قبل ان يكون التيار الملاحظ ناتجاً عن مقاومة العزل وليس عن تيار الشحن .

9-17 أميتر المزدوجة الحرارية (Thermocouple ammeter)

يعتمد هذا المقياس على التأثير الحراري للتيار . لذلك يمكن أن يعبر مباشرة لقيم ج . م . ت . ان أساس تشغيله يعتمد على التأثير الحراري الكهربائي للمعادن غير المتشابهة . اذا استخدم معدنان غير متشابهين لعمل دائرة وكان احد المقترقين بين المعدنين قد سلط عليه حرارة بينما بقي الآخر بارداً فان ق . د . ل . ك . تظهر في المقترق الحار مسببة تياراً مستمراً ليمر حول الدائرة . ان الق . د . ل . ك . الحرارية ومن ثم التيار يكون متناسباً مع درجة حرارة المقترق الحار . ويمكن قياس التيار بواسطة جهاز متحرك الملف في الدائرة .

تدعى وضعية معدنين غير متشابهين بالمزدوجة الحرارية والتي يمكن تسخينها بتيار متناوب بالطريقة المقترحة في الشكل 19-17 . حيث ان الحرارة تفقد بواسطة الشريحة وتحول الى المزدوجة الحرارية . وتعتمد درجة حرارة المزدوجة الحرارية تقريباً على مربع قيمة ج . م . ت . للتيار . ان تأشير جهاز متحرك الملف عند تعبيره بدلالة التيار الحراري يكون نتيجة لذلك غير خطي .



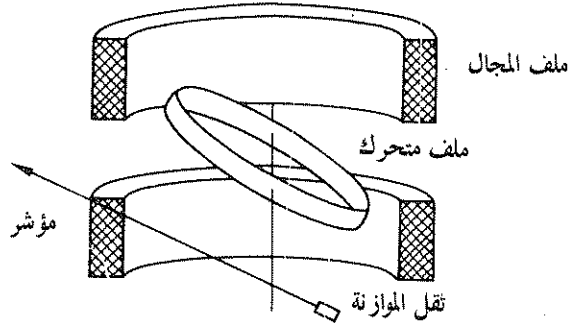
شكل 19-17 اميتر المزدوجة الحرارية

ان المقياس له أحد المساويء في ان استجابته بطيئة نظراً لأن تغير درجة حرارة المزدوجة الحرارية يكون بطيئاً . كما ان سعة فوق تحميل (overload capacity) المقياس تكون قليلة ومن جهة أخرى يشتغل المقياس بواسطة التيار المستمر والتيار المتناوب معطياً قيم ج . م . ت . دائماً . لاحظ ان قيم ج . م . ت . والقيم المتوسطة لتيار مستمر ثابت تكون هي نفسها ومتساوية . ويعمل المقياس بشكل مرضي في ترددات الى حد 1 جيكا هرتز .

بسبب أن المقياس غالبي الثمن وبطيء الأستجابة فإنه يستخدم إما في دوائر التردد العالي أو في قياس التيار في أنظمة التوزيع حينما يمكن اهمال التيارات الالية ويطلب قياس الطلب الاعظم (Maximum demand) للتيار خلال فترة القياس .

10-17 الجهاز الكهروديناميكي (Electrodynamic instrument)

لا يستجيب الجهاز متحرك الملف للتيار المتناوب نظراً لأن اتجاه العزم يتغير مع كل نصف موجة . ولذلك يكون متوسط العزم صفراً . ان هذه الصعوبة يمكن التغلب عليها اذا تناوب كل من تيار الملف والمجال المغناطيسي سوية . وهذا هو اساس عمل الجهاز الكهروديناميكي والذي كان يعرف سابقاً بجهاز الداينوميتر (Dynamometer) .

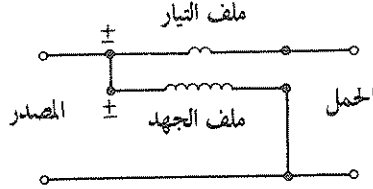


شكل 20-17 حركة كهروديناميكية

يبين الشكل 20-17 شكل بسيط لجهاز كهروديناميكي حيث ان الملفين الثابتين قد ركبا بشكل متناظر حول الملف الدوار ، وبهذه الطريقة فان التيار في الملفات الثابتة ينتج مجالاً منتظماً . واذا زود الملف المتحرك بالتيار بنفس تردد الملفات الثابتة فإنه يتعرض الى عزم متوسط ذي اتجاه واحد . في هذا التركيب لا يوجد بين الاجزاء أي جزء مغناطيسي حديدي في حركة المقياس مما ينتج عنه ان كثافة التدفق الناتجة من التيار في الملفين الثابتين تتناسب طردياً مع التيار . كما انه بسبب عدم وجود اجزاء مغناطيسية حديدية تشوه المجال فان كثافة التدفق الناتجة من التيار في الملف المتحرك يمكن اهمالها . ويكون النظام متناظراً . ومن قيمة القوة على موصل حامل للتيار يمكن ان نبين ان العزم يتناسب مع حاصل ضرب التيارين في الملفين .

في حالة الاميترات والفولتميترات الكهروديناميكية تكون تيارات الملفات هي نفسها ومتساوية . ونظراً لأن العزم يتناسب مع متوسط مربع التيار فإنه بالامكان تعبير تأشير قيم الج . م . ت . ويتوقع أن التأشير يمكن أن يكون متزايداً بشكل لا خطي نظراً لمميزاته ذات القانون التربيعي ، الا ان العزم يعتمد على زاوية الانحراف وهذا يساعد لجعل التأشير خطياً لحد ما .

ان حركة المقياس يمكن استخدامها كأداة لقياس القدرة وفي هذه الحالة فان التيار في الملف المتحرك يتناسب مع الفولتية بينما يمر التيار خلال الملفين الثابتين . لذلك فان العزم يتناسب مع متوسط حاصل ضرب الفولتية والتيار كما انه يأخذ بنظر الاعتبار كون الفولتية والتيار يشترط أن يكونا بنفس الطور لأن ذلك يقلل من العزم الناتج . لذلك فان العزم يتناسب مع القدرة في الدائرة ويعمل المقياس كواطميتر (Wattmeter) يبين الشكل 21-17 التوصيلات لذلك .



شكل 21-17 ربط الواطميتر

وبفض النظر عن نسق التشغيل فانه عند تشغيل جهاز كهروديناميكي بكميات متناوبة فان العزم يكون مستمر التآرجح . ويكون التأشير هو متوسط العزم ولا يظهر التآرجح الا عند الترددات الواطئة جداً وذلك بسبب القصور الذاتي (inertia) للنظام المتحرك . كما ان الجهاز يمكن ان يعمل بالتيار المستمر أيضاً .

يمكن ربط الملفين الثابتين على التوازي او على التوالي ولذلك فان معظم المقاييس يكون فيها تدرجان . ويمكن توسيع مدى الفولتميتر باستخدام مضاعفات ، ولكن من غير الاعتيادي توسيع مدى التيار باستخدام مقاوم متوازي مع الجهاز . ان تأثير المقاوم المتوازي يتغير مع التردد وتعطي محولات التيار نتائج أكثر دقة .

يمكن تعبير الجهاز الكهروديناميكي أما بتيار متناوب او بتيار مستمر وتبقى الدقة متساوية في كلا الحالتين نظراً لعدم وجود تأثير تخلفي . الا أنه من المناسب تغيير الجهاز بتيار مستمر ثم استخدام الجهاز لقياس كميات متناوب . ومما يجب ملاحظته ان المقياس يقرأ قيم ج . م . ت . مهما كان شكل الموجة أو التردد شرط ان لا تكون الا خيرة عالية جداً .

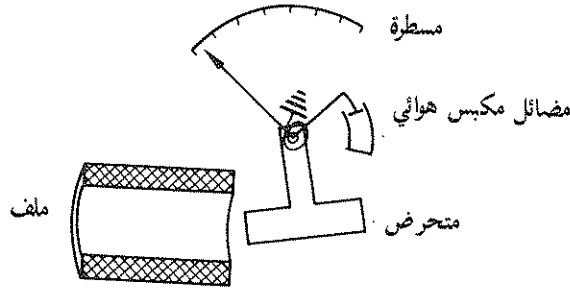
نشاهد الاجهزة الكهروديناميكية كثيراً كواطميترات بالرغم من ان الفولتميترات والاميترات الكهروديناميكية هي ليست نادرة . ان أهم التطبيقات لهذه المقاييس هي اجهزة التحويل (Transfer instrument) أي انها تعبر على التيار المستمر ثم تستخدم كمقارنة لتقنينات اجهزة تيار متناوب اخرى مثلاً مقياس الطاقة التكاملية (Integrating energy meters) .

ان مساوىء الجهاز الكهروديناميكي تتلخص في كمية التيار المطلوب لتشغيلها فالتيارات العالية نسبياً تنتج عن عدم وجود لب مغناطيسي حديدي في الدائرة المغناطيسية وان الفولتميتر يمكن استخدامه بشكل مرضي فقط في دوائر القدرة العالية كما ان الأميتر هو الاخر يكون ذا مقاومة عالية نسبياً . وبسبب الخسارة الناتجة في الطاقة يمكن استخدامها فقط في دوائر القدرة العالية . الا ان وظائف الفولتميتر والاميتر

يمكن الحصول عليها باستخدام الجهاز متحرك الحديدية (Moving-iron instrument) والذي يكون ارضص ثمناً . ان استخدام الجهاز كواطميتر فقط يبرر ثمنه الاضافي لاغراض استخدامه كجهاز تحويل .

11-17 الجهاز متحرك الحديدية

يمكن بواسطة هذا الجهاز قياس كل من التيار المتناوب والتيار المستمر بالرغم من أنه بصورة عامة يستخدم فقط في التطبيق الاول . ويمكن للمجموعة المتحركة الاساسية ان تحرف بنفس الطريقة المستخدمة في جهاز متحرك الملف لتوسيع تدرجات تشغيله كقولتمتر وامير .
هناك نوعان من الجهاز متحرك الحديدية وهما النوع المنجذب والنوع المتناظر .
يبين الشكل 22-17 النوع منجذب المتحرض والذي يحوي على متحرض حديدي مغناطيسي موضوع

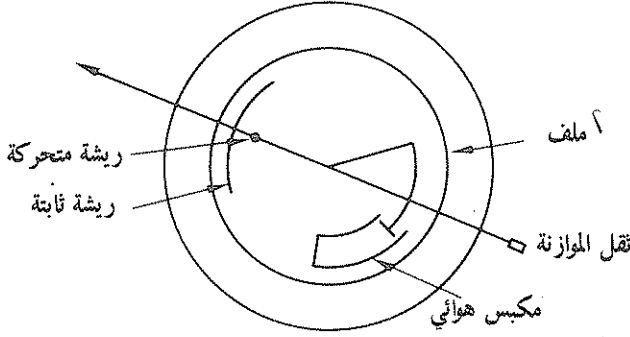


شكل 22-17 جهاز متحرك الحديدية ذو المتحرض المنجذب

قريباً من سلك ملف ذي لب هوائي . ويرتكز المتحرض بحيث يستطيع الدوران ضد نظام من النوابض تعاكس حركته بنفس الشكل الذي شرحناه في حركة الملف المتحرك .
عند مرور تيار خلال الملف يتكون مجال مغناطيسي . ولغرض زيادة الطاقة المخزونة في المجال ينجذب المتحرض داخل الملف وتعتمد قوة التجاذب على الطاقة ومن ثم على مربع التيار وهنا يجب ان يلاحظ ان اتجاه التيار لا يؤثر على الجهاز لذا فان الجهاز يعمل باي من التيار المستمر او المتناوب . ونظراً لان الانحراف يعتمد على متوسط مربع التيار فان مؤشر يتناسب مع قيمة ج . م . ت . لتيار الملف .
ان هناك صعوبة مهمة تصادف عند تصميم اي جهاز ذي قانون تربيع الا وهي الحصول على تأثير خطي معقول . ففي الجهاز متحرك الحديدية يمكن تغيير شكل المتحرض لكي يعطي مقياساً قريباً من الخطي عدا في القراءات ذات القيم الواطئة .

اما الشكل الاخر من اشكال الجهاز متحرك الحديدية فهو جهاز الحركة المتناظرة والذي يبين الشكل 23-17 نموذجاً له . في هذه الحالة وضعت قطعتان من مادة حديدية مغناطيسية داخل الملف وثبتت احدهما في الفراغ بينما ربطت الاخرى الى مغزل يحمل المؤشر . فعند اثاره الملف تتمغنط القطعتان بنفس الطريقة

ومن ثم تتنافر احدهما مع الاخرى وتستعمل هذه القوة لتشغيل الحركة .



شكل 23-17 جهاز متحرك الحديد النوع

يعتمد الانحراف على حاصل ضرب مغنطة كل من القطعتين الحديديتين المغناطيسيتين ، لذلك يتناسب مع مربع شدة المجال المغناطيسي . الا أن شدة المجال المغناطيسي تتناسب مع تيار الملف ومن ثم يتناسب الانحراف مع متوسط مربع التيار لذلك فان المقياس التنافري يؤشر بقيمة ج . م . ت كما هي الحال في المقياس المتحرض المنحذب .

عند تشغيل جهاز متحرك الحديد من تيار مستمر فان التأثير التخلفي ينتج بوجود المادة الحديدية المغناطيسية . لذلك فان الانحراف لا يكون بنفس المقدار حينما يصل التيار لاي قيمة محددة فيما لو انقص التيار لنفس القيمة . ولهذا السبب فان الجهاز لا يستخدم بصورة عامة لقياس الكميات المستمرة . نظراً لوجود التدفقات المتناوبة عند استخدام الجهاز في قياس الكميات المتناوبة فان نظام التضاؤل الكهرومغناطيسي لا يناسب الاستخدام في الجهاز متحرك الحديد ، ولذلك يستعمل نظام الهواء المضغوط (Pneumatic system) بدلاً من ذلك والذي يحتوي على مكبس (Piston) يتحرك داخل اسطوانة مغلقة . وهذا المكبس لا يمس جوانب الاسطوانة ، الا انه يتعرض الى ما يعاكس حركته نظراً لوجود الهواء الذي يعاكس حركة المكبس . ان نظام التضاؤل هذا يستخدم ايضاً في الاجهزة الكهروديناميكية .

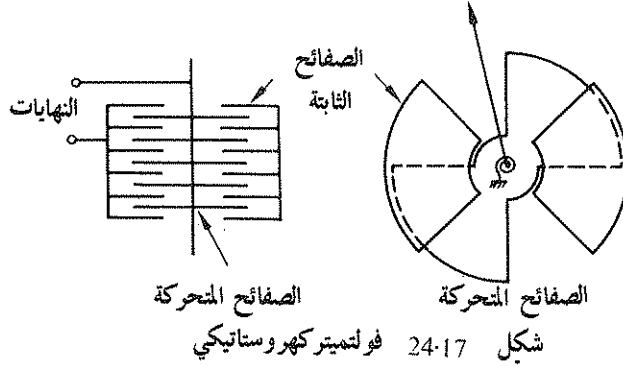
يمكن استخدام الجهاز متحرك الحديد لقياس الفولتية او التيار ونظراً لان ملف الاثارة يمكن ان يصنع من سلك ذي عيار ثقيل (heavy-gauge wire) لذلك فهو لا يحتاج الى مقاوم متوازي عند تشغيله كأميتر لكنه يحتاج الى مضاعف عند استخدامه كفوولتميتر . وفي كلا النسقين يشتغل الجهاز على كل من التيار المستمر والتيار المتناوب بشرط ان لا يكون التردد عال جداً مثلاً الى حد 2 كيلوهرتز . ان هذا المقياس ذو رقم استحقاق عال جداً . لذلك فان التيار المتناوب يكون عالياً جداً فمثلاً يحتاج الفولتميتر الى عشر أمبير في حالة انحراف التأشير التام . كما ان الاميتر متحرك الحديد يحوي مقاومة عالية بالنسبة الى ما يكافئه من جهاز متحرك الملف . لذلك فان المقياس متحرك الحديد يمكن ان يستخدم

في دوائر القدرة فقط وهو شائع الاستعمال في هذا التطبيق نظراً لكونه يتحمل التشغيل الثقيل وبنفس الوقت فهو رخيص الثمن .

12-17 الفولتميتر الكهروستاتيكي

يعتمد جهاز المتحرك الحديدية ذي المتحرض المنجذب على قوة التجاذب المغناطيسية بين السطحين الممغنطين ، كما ان هناك قوة تجاذب مشابهة بين السطحين المحيطين بالمجال الكهروستاتيكي . فاذا تحرك هذان السطحان نحو بعضهما او ازدادت المساحة المحيطة فان قوة تتكون في هاتين الحالتين . وعلى هذا الاساس وجد الفولتميتر الكهروستاتيكي .

ان الشكل الاعتيادي للجهاز مبين في الشكل 24-17 حيث ان سطحي الصفيحتين حوا الحركة



أحدهما داخل الاخر . ويكون احدهما ثابتاً بينما يمكن للاخر ان يدور حول مغزل . ان فرق الجهد المطلوب قياسه يساوي على الصفيحتين حيث يصل احد التوصيلين الى الصفائح الثابتة والتوصيل الاخر الى الصفائح المتحركة . ان الطاقة في المجال الكهروستاتيكي $= \frac{1}{2} CV^2$. ونظراً لان القوة تعتمد على سرعة تغير الطاقة المخزونة ، لذلك فان القوة تتناسب مع متوسط مربع الفولتية ولهذا يكون الانحراف مؤشراً الى قيم ج.م.ت . . .

ان العزم هنا يتأرجح ايضاً حينما يقيس الفولتميتر فولتية متناوبة ويؤشر على متوسط المربع كما ان الفولتميتر يعمل ايضاً بالفولتيات المستمرة . وكما هو متوقع فان شكل موجة المصدر لا تؤثر على دقة المقياس كما ان مدى التردد له عال جداً .

ان الفولتميتر الكهروستاتيكي ذو فائدة مهمة حيث انه يحتاج الى تيار قليل لكي يعمل وبالاخص يمكنه ان يقيس الفولتيات الساكنة المحتنة . فبعد ان يأخذ الشحنة الابتدائية لا يسحب تقريباً تياراً اخر لكي يستمر في انحرافه وتأشيريه .

13-17 تأثير المقاييس على الدوائر

لقد أشير في الفقرات السابقة الى أرقام الاستحقاق والمقاومات لمختلف المقاييس المشروحة . ان أهمية هذين العاملين تحتاج الى بعض المناقشة . هناك نقطتان يجب تذكرهما اولاهما هي ان كل مقياس يحتاج الى كمية معينة من القدرة لتشغيله فاذا كانت هذه القدرة قليلة بالنسبة الى القدرة المقاسة في الدائرة فان الخطأ الناتج يكون قليلاً . الا انه اذا كانت قدرة المقياس تتقارن مع قدرة الدائرة فان خطأ فادحاً ينتج من ذلك . وقبل ان نعطي مثالاً لذلك يجب ان نذكر ان أي جهاز يؤشر الى الظروف على طرفيه بشكل صحيح ضمن مجال تعبيره لذلك فان الفولتميتر يؤشر ضمن تحديدات دقته الاعتيادية الى فولتية الطرفين كذلك الحال بالنسبة الى الاميتر حيث يؤشر الى التيار المار فيه .
ولفرض توضيح هاتين الملاحظتين نفرض المثال التالي :

مثال (5-17) سلطت فولتية مقدارها 100 فولت على دائرة تحتوي على مقاومين متوالين قيمة كل منهما 50 كيلو اوم . استخدم فولتميتر ذو انحراف تام التأشير مقداره 50 فولت وذو رقم استحقاق مقداره 1000 اوم لكل فولت عبر أحد المقاومين الذي قيمته 50 كيلو اوم .
احسب :

أ- الفولتية عبر المقاوم 50 كيلو اوم .

ب- الفولتية المقاسة بواسطة الفولتميتر .

لفرض ان الفولتية عبر المقاوم 50 كيلو اوم حينما كان الفولتميتر غير مربوط بالدائرة تساوي V_1

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{R}{2R} \times V \\ &= \frac{50 \times 10^3}{100 \times 10^3} \times 100 \\ &= 50 \text{ V} \end{aligned}$$

لفرض ان R_v هي مقاومة الفولتميتر

$$\begin{aligned} R_v &= 50 \times 1000 = 50000 \Omega \\ &= 50 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

عند ربط الفولتميتر في الدائرة فانه يكون على التوازي مع الـ 50 كيلو اوم فاذا كانت R_v هي مقاومة الدائرة المتوازية فان

$$\begin{aligned} R_e &= \frac{R \times R_v}{R + R_v} = \frac{50 \times 10^3 \times 50 \times 10^3}{100 \times 10^3} \\ &= 25 \times 10^3 \Omega \\ &= 25 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

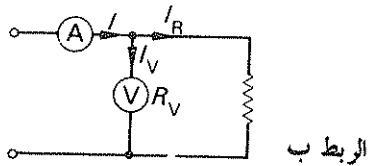
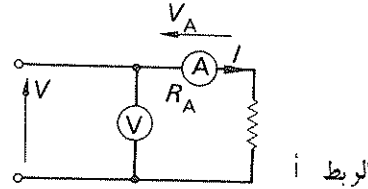
إذا كانت V_2 هي الفولتية عبر المقاوم الذي قيمته 50 كيلو اوم عند قياسها بالفولتمتر فإنه :

$$V_2 = \frac{R_e V}{R + R_e} = \frac{25}{50 + 25} \times 100 = 33.3 \text{ V}$$

من هذا المثال يتبين ان الفولتية المقاسة بالفولتمتر خاطئة تماماً . وقد نتج الخطأ من تأثير الفولتمتر على الدائرة وبسبب تأثير القيم المختارة فقد سحب الفولتمتر نفس التيار الذي يسحبه الحمل المطلوب قياس فولتيته . ومن ذلك يتبين ان القدرة المأخوذة من قبل الفولتمتر تساوي القدرة في الحمل المقاس . وحتى لو كانت مقاومة الفولتمتر عشرة مرات أكبر فان الخطأ سيكون تقريباً 0.02 . لذلك يتبين ان المقياس يمكن أن يؤثر على الدائرة التي يربط فيها ويمكن زيادة توضيح ذلك بفحص طريقة قياس المقاومة باستخدام الفولتمتر والأميتر . إذا قيست الفولتية المسلطة على مقاوم باستعمال فولتمتر مثل V وقيس التيار بواسطة اميتر مثلاً I فان المقاومة الظاهرية للمقاوم تساوي

$$R \text{ الظاهرية} = \frac{V}{I} \quad (17.4)$$

بالامكان ربط المقاييس باحدى طريقتين للحصول على هذه القراءة وهاتان الطريقتان مبينتان في الشكل 25:17 .



شكل 25:17 ربط الفولتمتر والاميتر لقياس المقاومة

في الربط أ يؤثر الفولتمتر الى مجموع هبوط الفولت عبر المقاوم والاميتر أي الى V_R و V_A على التوالي ، لذلك تكون القيمة الحقيقية للمقاومة تساوي

$$R \text{ الحقيقية} = \frac{V - V_A}{I}$$

$$= \frac{V - IR_A}{I} \quad (17.5)$$

فاذا كانت R_A أقل بكثير من R تكون V تقريباً مساوية لـ V_R ويتبع من ذلك ان الربط يكون مناسباً جداً عند قياس مقاومات عالية القيمة .

كما يلاحظ أيضاً ان المقاومة الحقيقية تساوي المقاومة الظاهرية مطروحاً منها مقاومة الاميتر .
أما في الربط B فان الاميتر يؤثر الى مجموع تيارى المقاوم والفولتميتر أي الى I_R و I_V على التعاقب .
لذلك تكون القيمة الحقيقية للمقاومة معطاة بـ :

$$R_{true} = \frac{V}{I_R} = \frac{V}{I - I_V}$$

$$= \frac{V}{I - V/R_V} \quad (17.6)$$

إذا كانت R_V أكبر بكثير من R فان I يساوي تقريباً I_R ويتبع من ذلك أن هذا الربط يكون مناسباً جداً حينما تكون أقيام المقاومات المقاسة وأطئة ، كما أنه يلاحظ أيضاً أن التوصيلية الناقصة تساوي التوصيلية الظاهرية مطروحاً منها توصيلية الفولتميتر .

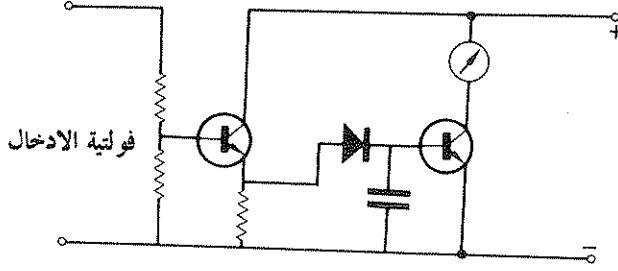
14.17 الفولتميتر الالكتروني وني

بالرغم من أنه يمكن الحصول على ممانعات ادخال عالية جداً في المقاييس الكهرومغناطيسية والكهروستاتيكية كما وصفنا أعلاه فان هذه القيم لا تكون عالية ما فيه الكفاية للتطبيقات الالكترونية ودوائر الاتصالات . فان هذه الدوائر لا تتمكن من اعطاء قدرة كافية للتشغيل المرضي دون تأثير ملموس على الدوائر المقاسة . لذلك فان المقياس المناسب لهذه التطبيقات يجب أن يستهلك قدرة أقل . ويمكن الحصول على ذلك اذا ضخمت قدرة الادخال الكترونياً ، ومن ثم فان القدرة المطلوبة لتشغيل ميكانيكية التأشير تأتي من مصدر غير الدائرة المقاسة .

ان أكثر المقاييس انتشاراً والذي يعمل على هذا الاساس هو الفولتميتر الالكتروني والذي كان يعرف بما مضى بالفولتميتر الصمامي (Valve Voltmeter) حينما كانت مضخمات الصمامات الترمو ايونية هي الوحيدة المتوفرة فقط . وعند الاستعاضة عن الصمام بالترانزسترسمي بالفولتميتر الصمامي الترانزستري لذلك فان تسمية الفولتميتر الالكتروني تشمل كل طرق التضخيم .

يصمم الفولتميتر لكي يكون ذا ممانعة ادخال عالية او أعلى ما يمكن الحصول عليه اعتيادياً . ان القيم النموذجية لمقاومة الادخال هي عدة ميكا اومات . عند افتراض ممانعة الادخال بالنسبة الى قياسات الدوائر الالكترونية فان سعة الادخال يجب أخذها بنظر الاعتبار والتي تكون أقيامها النموذجية عدة بيكو فرادات .

يكون تصميم دوائر الفولتمترات الالكترونية بصورة عامة معقداً وهو بالتأكيد متقدماً أكثر من الدوائر الالكترونية التي يشملها هذا الكتاب . وبين الشكل 26.17 دائرة بدائية لم يظهر فيها أي انحياز او استقرار للفولتية لغرض ابقاء الدائرة اساسية قدر الامكان .



شكل 26.17 فولتمتر الكتروني بدائي

يمكن تسليط فولتية الادخال المطلوب قياسها الى مقسم فولتية لغرض تقليل الفولتية المقاسة الى قيمة معقولة . ويمكن ان يكون المقسم قابلاً للتغيير لاعطاء تدرجات قياسات متغيرة .

وتجهز الاشارة الناتجة عبر متسعة اقتران الى مرحلة تابع الباعث (Emitter follower) والتي تكون ممانعة ادخالها عالية. ومن ثم تمنع مصدر الاشارة من أن يكون فوق التحمل (overloaded) . ان اشارة الاخراج هي الان عملياً مقطوعة العلاقة مع مصدرها ومن ثم يمكن تضخيمها . ولغرض تبديل اشارة التيار المتناوب الى ما يكافئها من اشارة التيار المستمر يمكن تسليطها على متسعة خلال صمام ثنائي وتناسب شحنة المتسعة مع ذروة فولتية التيار المتناوب .

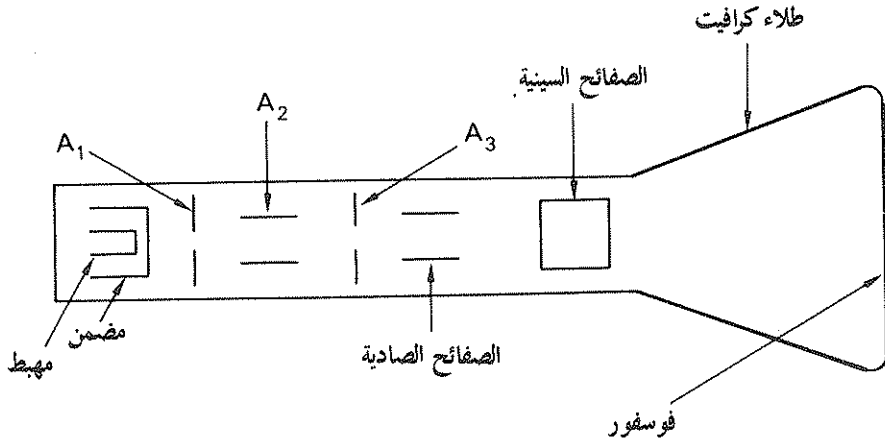
ان الشحنة التي حصلت عليها المتسعة تحدد تيار القاعدة لمرحلة مضخم الباعث المشترك التي تليها . ومن ثم تحدد تيار المجمع وهذا التيار يمر خلال جهاز ملف متحرك والذي يمكن تعييره بدلالة الفولتية المتناوبة الداخلة .

ان هذا الفولتمتر يحوي أحد المساويء في أنه بالحقيقة يقيس الفولتية العظمى وليس فولتية ج . م . ت . ان التعبير يفترض موجة جيبيه ولذلك فان الفولتمتر قابل للخطأ . وهناك دوائر أكثر تعقيداً تسمح للفولتمتر لقياس قيم ج . م . ت . كما أنها تعطي استقراراً أفضل لدرجة الحرارة ، وأكثر من ذلك فان ممانعة الادخال تكون ذات قيم عالية .

ان طريقة التأشير في الجهاز المتحرك الملف يمكن الاستعاضة عنها بلوحة عرض مضاءة (illuminated digital display) الا أنها اعلى ثمناً ولكنها سهلة القراءة وتحمل التشغيل الثقيل .

15-17 مرسمة التذبذبات (Oscilloscope)

ان مرسمة التذبذبات أو مرسمة اشعة المهبط (Cathode-ray oscilloscope) هي احد الاجهزة الشائعة والمستخدمه في القياسات وفي اجهزة ايجاد العطب في التطبيقات الحالية . فباستخدام انبوبة اشعة المهبط يعرض شكل الموجة لأي اشارة مناسبة ويكون عادة شكل موجة فولتية متناوبة . تستخدم انبوبة اشعة المهبط الظاهرة التي تمتاز بها بعض المواد وتعرف بالفوسفورية ، حيث تبعث ضوءاً حينما تقذف بالالكترونات . تعرف الخاصية هذه بالفلورية (Fluorescence) حينما ينبعث الضوء في لحظة القذف بينما اذا كان الانبعاث بعد انتهاء القذف فتعرف بالفوسفورية (Phosphorescence) ان كافة انواع الفوسفور تظهر كلا الظاهرتين لحد ما بالرغم من ان احدهما قد تكون متميزة عن الاخرى . فالفسفور الذي يختار لتطبيقات محددة يكون وفق الدرجة المطلوبة لوجود استمرارية الضوء المنبعث ولونه . ويبين الشكل 27-17 تركيب نوع شائع من صمامات اشعة المهبط . عند تسليط فولتية بين للصفحتين في الفراغ يكون هناك ميل قبل الالكترونات لمغادرة صفيحة الفولتية الواطئة (القطب الكهربي) (electrode) وان تتحرك خلال الفراغ الى صفيحة الفولتية العالية (المصعد) (Anode) . ان هذا الميل يزداد عند تسخين المهبط وطلاءه باوكسيد مناسب . لذلك فان الصمام المبين في شكل 27-17 تقذف الالكترونات فيه من المهبط المسخن بشكل مباشر في النهاية اليسرى من الانبوبة الزجاجية المفرغة من الهواء .



شكل 27-17 تركيب انبوبة اشعة المهبط

يوجد حول المهبط قطب كهربائي اسطواني من المعدن يحوي ثقباً في نهايته المستوية وتمر من خلاله الإلكترونات . ان جهد الاسطوانة بالنسبة الى المهبط يبقى سالباً وتغير جهد القطب الكهربائي هذا فان سرعة سريان الإلكترونات خلال الثقب يمكن تغيرها ، وهذه بدورها تغير سطوع (brightness) الضوء المنبعث والذي يعتمد على عدد الإلكترونات المصطدمة بالفسفور . ويعرف القطب الكهربائي المسيطر بالمضمن (Modulator) .

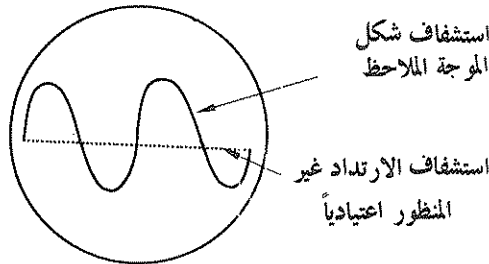
بعد مرور الإلكترونات خلال المضمن تدخل الى نظام الاقطاب الكهربائية والتي يكون عددها عادة ثلاثة وهذا النظام يعمل على تعجيل الإلكترونات . ان هذه الإلكترونات تستخدم لتركيز حزمة الإلكترونات في البؤرة (Focus) بحيث تتركز معطية بقعة صغيرة من الضوء المنبعث من الفسفور . ان التركيز البؤري ضروري نظراً لان الإلكترونات المشحونة بالشحنة السالبة تتنافر مع بعضها البعض وبالعكس ذلك يحصل انفراج (Divergence) فيها عند مرورها خلال الانبوبة . ويعرف القطبان A_1 و A_3 بالمعجلين الاول والثاني على التعاقب . ويتكونان من قرصين معدنيين فيهما ثقبان في مركزيهما . كما يعرف A_2 بالقطب الكهربائي المركز بالبؤرة والذي يكون عبارة عن اسطوانة مفتوحة . ان جهد A_3 يبقى موجباً بالنسبة الى A_2 والذي يكون بدوره موجباً بالنسبة الى A_1 . ان وضعيات المجال الكهربائي بالنسبة الى A_1 و A_2 وكذلك A_2 و A_3 يكون لهما مكونات محورية ومكونات نصف قطرية . فالمكونات المحورية تعجل الإلكترونات بينما يكون التأثير الصافي للمركبات نصف القطرية انفراجاً .

ان سبب التأثير الصافي هو المركبة نصف القطرية للمجال . تنتج في بعض النقاط قوة انفراج على الإلكترونات ويمكن الحصول على التركيز الكلي بسبب وجود الحزمة في الاجزاء التي تحاول تركيزها لفترات طويلة من الزمن اكثر من الاجزاء التي تحاول انفراجها . يعرف المهبط والمضمن والاقطاب A_1 و A_2 و A_3 بالمدفعة الالكترونية (Electron gun) . عند خروج الحزمة من القطب الكهربائي تمر خلال مجموعتين من الصفائح المتوازية والتي تعمل مع بعضها زاوية قائمة . ان احدى المجموعتين من الصفائح يمكن ان تحرف الحزمة في اتجاه المحور الصادي والاخرى في اتجاه المحور السيني . وتعرفان بالصفائح الصادية والسينية على التعاقب . ان الحزمة تصطدم بعد ذلك بالفوسفور الذي يغطي النهاية الداخلية للانبوبة مكونة شاشة (screen) في نقطة تعتمد على الجهود عبر الصفائح السينية والصادية . وتتجذب الحزمة في كل حالة الى الصفيحة التي يكون جهدها موجباً بالنسبة للآخرى .

من الضروري ازالة الشحنة المكتسبة من قبل الفوسفور من الكاتودات الحزمة ، وبعبارة تكون سالبة لحد تنافر معها الحزمة . ويمكن الحصول على ذلك باستخدام حقيقة الانبعاث الثانوي للإلكترونات والذي يحدث اصطدام وانبعاث الضوء . لذلك يطلى داخل الانبوبة بطلاء مكون من طبقة رقيقة من الكرافيت والتي تربط بالمعجل الثاني . ان الإلكترونات الثانوية تتجذب نحو هذا الطلاء ومن ثم يحصل تيار بين المهبط والمعجل الثاني .

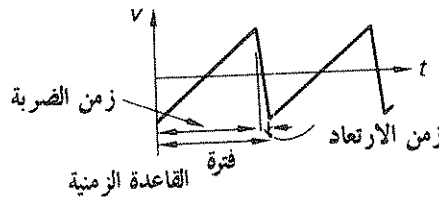
يمكن تركيز انحراف الحزمة باستخدام مجالات مغناطيسية . بدلاً من المجالات الكهربائية . ان استخدام التركيز المغناطيسي نادراً ما يلاحظ في انابيب أشعة المهبط ، لكنه يستخدم في المستقبلات التلفزيونية حيث يوجد مجموعتان من الملفات المثبتة خارجياً والتي تنتج مجالاً مغناطيسياً في الانبوبة عندما تحمل تياراً . ومن ثم تنحرف حزمة الإلكترونات التي تقع في هذا المجال .

تحتوي مرسمة التذبذبات على انبوبة أشعة المهبط ، كما يلي : يسيطر على الصفيحتين الصاديتين بالإشارة المطلوب ملاحظتها وهذه الإشارة لا تسلط على الصفيحتين مباشرة لكنها تضخم إلكترونياً لسببين أولهما مسألة الحصول على ثمانية ادخال عالية لكي تكون مرسمه التذبذبات ذات تأثير قليل على الدائرة المقاسة بأقل حد ممكن . ويمكن حل هذه المشكلة بنفس الطريقة المستخدمة في الفولتميتر الإلكتروني . ان الإشارة يجب ان تضخم أيضاً ليتم الحصول على مجال كهربائي كافٍ بين الصفيحتين الصاديتين لكي يتم انحراف الحزمة الإلكترونية على مساحة الشاشة كاملة . وبالرغم من ان التضخيم يحدث فإنه من الضروري ان يكون كسب المضخم ثابتاً وبمكسه فان الانحراف العمودي لا يتناسب مع إشارة الإدخال .



شكل 28-17 عرض نموذجي لمرسمه
تذبذبات انبوبة اشعة المهبط

تجهز الصفيحتان السينيتان من مولد قاعدة زمنية (Time-base generator) ، وهذا يسبب حركة الحزمة عبر الشاشة من اليسار الى اليمين بسرعة ثابتة . ثم تعود الحزمة الى البداية بأقصى سرعة ممكنة وتعاد العملية . وعلى فرض ان الارتداد (fly back) يكون سريعاً ما فيه الكفاية لذلك فان الحزمة لا تترك أي أثر على الشاشة . وعند تنظيم تردد شكل موجة القاعدة الزمنية بحيث يساوي تردد الإشارة المدروسة فان الاستشفاف (trace) المستقر يلاحظ على الشاشة . وهذا يحدث أيضاً اذا كان تردد الإشارة يساوي مضاعف كامل لتردد القاعدة الزمنية التي يلاحظ فيها عدد من أشكال الموجة كما مبين في الشكل 28-17

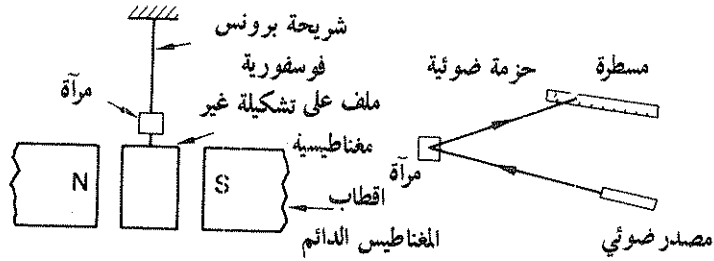


شكل 29-17 شكل موجة الفولتية للقاعدة
الزمنية لمرسمه تذبذبات انبوبة اشعة المهبط

يبين الشكل 29-17 شكل موجة قاعدة زمنية نموذجية وهنا يجب أن يلاحظ ان القاعدة الزمنية الناتجة داخلياً لا تستخدم دائماً وان هناك طرق عديدة اخرى لتطبيق مرسمه التذبذبات في القياسات الكهربائية والقياسات الاخرى .

16-17 الكلفانوميتر القذفي (Ballistic galvanometer)

يشابه هذا الجهاز في اساسه الجهاز المتحرك الملف الموصوف في الفقرة 4-17 . الا انه باستخدام نظام التعليق الفايبري المقترح وبانحراف حزمة الضوء للحصول على اظهار الانحراف فان الحركة الناتجة تحوي أقل ما يمكن من تضاول وعلى كتلة قصور ذاتي كبيرة نسبياً ، لذلك يمكن اظهار الشحنة التي تمر فيه . ان أبسط تركيب للجهاز مبين في شكل 30-17 .
يلف الملف على تشكيلة غير مغناطيسية لتقليل تأثير التضاول الكهرومغناطيسي من مجال المغناطيس الدائم .

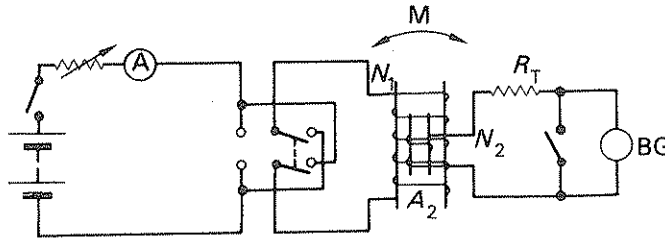


شكل 30-17 كلفانوميتر قذفي

ان تيار الملف يسبب له انحرافاً ويمتد هذا الانحراف لحد يلاحظ نتيجة ازاحة حزمة ضوء منعكسة على مسطرة . وكلما كان موضع المسطرة أبعد كلما كان تأثير الكلفانوميتر القذفي أكثر تضخيماً .
ان التيار يسري من اولى الملف بواسطة أسلاك رفيعة والتي تسبب سيطرة مهملة تقريباً على موضع الملف .
ان عزم التعليق الفايبري او شريحة البرنز الفوسفوري تنتج عزمًا مستديماً صغيراً جداً . وكتيجة لذلك فان الملف يتذبذب عند انحرافه في موضعه الاعتيادي ويربط عادة زرع الملف ، فعند غلقه يربط دائرة قصر عبر الملف ومن ثم يضائل حركته . ان عزم الانحراف في أي لحظة يتناسب مع تيار الملف .
ففي الجهاز متحرك الملف ينتج التيار عزمًا مستمرًا ضد نوابض التثبيت . اما في الكلفانوميتر القذفي فان التيار يمر خلال الملف لفترة قصيرة معطياً عزمًا نضبياً للحركة . وهذا العزم لا يزال مسطاً طالما تكون المجموعة لا تزال ساكنة عملياً . ان النبضة (impulse) تسبب حركة الملف من وضع السكون الابتدائي له ولكنه لا يوجد اي عزم يسيره نظراً لأن التيار قد توقف عن السريان . وعلى فرض ان التضاول الناتج من تعليق التثبيت كان صغيراً فان مقدار أول تأرجح في الحركة يتناسب مع نبضة التيار المسار خلال الملف .
ان الانحراف يتناسب مع حاصل ضرب العزم النبضي والزمن ، الا ان العزم يتناسب مع التيار كما ان حاصل الضرب الكلي للتيار والزمن هو الشحنة المارة في الملف . لذلك فان انحراف الكلفانوميتر القذفي يتناسب مع الشحنة المغناطيسية المارة .

ان مما يجب ملاحظته ان نسق التشغيل هذا ينطبق فقط اذا مرت الشحنة في الجهاز وبفترة زمنية صغيرة جداً . وبعد أول انحراف يستمر التأشير في التذبذب لزم من محسوس لعدم وجود تضاؤل او تنبسط ولهذا السبب فقد جهاز الزر المتوازي ولهذا فان تأشير اول تارجح يمكن أن يستخدم لاغراض القياس . وبخلاف الاجهزة الاخرى فان الكلفانوميتر القذفي يجب تعبيره قبل أخذ كل مجموعة من القياسات ، وذلك نظراً لأن المسطرة تكون غير مثبتة على مسافة معينة من المرآة . هذا بالإضافة الى ان مقاومة دائرة الملف يجب أخذها بنظر الاعتبار . ان التعبير يحدد كمية الحساسية او الثابت القذفي (K) للكلفانوميتر القذفي ، وهذه الكمية هي الكهروباية بالكولوم لكل وحدة انحراف . عند اهمال مقاومة الدائرة المقاسة يمكن تعبير الكلفانوميتر القذفي باحدى الطرق التالية :

ان أكثر طريقة شائعة هي باستخدام ملف لولبي قياسي والذي يحوي على ملف لولبي ملفوف على اسطوانة من مادة عازلة ويكون طول الملف اعتيادياً حوالي 1 متر بينما لا يزيد متوسط القطر عن 100 ملم . وبهذه الطريقة يكون المجال منتظماً بشكل معقول في مركز الملف اللولبي . ويوضع الملف الثانوي او الملف الباحث (search coil) محورياً داخل الملف اللولبي ويجب ان يكون طوله معلوماً بدقة . بين الشكل 31-17 دائرة التعبير أعلاه .



شكل 31-17 دائرة تعبير الكلفانوميتر القذفي باستخدام ملف لولبي قياسي

في التحليل التالي يشير التوصيف السفلي 1 الى الملف اللولبي الابتدائي ، بينما يشير التوصيف السفلي 2 يشير الى الدائرة المحتوية على الملف الباحث والكلفانوميتر القذفي . ان المساحة A_2 هي مساحة المقطع العرضي للملف الباحث . في داخل الملف اللولبي يكون :

$$H = \frac{N_1 I_1}{l_1}$$

$$B = \frac{\mu_0 N_1 I_1}{l_1}$$

ان التدفق المار خلال الملف الباحث لذلك يساوي

$$\Phi_2 = \frac{\mu_0 N_1 I_1 A_2}{l_1}$$

من الاعتيادي ان يكون التدفق الموصل للملف الباحث لكل أمبير من تيار الملف الابتدائي معلوماً .
وعندها يمكن ايجاد هذا التدفق قبل التعبير . لنفرض ان التيار I_1 قد عكس في زمن مقداره Δt لذلك
فان الق . د . ك . المحتثة في الملف الباحث يساوي

$$\begin{aligned} E_2 &= N_2 \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \\ &= N_2 \cdot \frac{2\Phi_2}{\Delta t} \\ I_2 &= \frac{N_2 \cdot 2\Phi_2}{R_T \cdot \Delta t} \end{aligned}$$

حيث R_T هي المقاومة الكلية للدائرة الثانوية . ان الشحنة التي تسري تساوي :

$$\begin{aligned} Q_2 &= \frac{N_2 \cdot 2\Phi_2 \cdot \Delta t}{R_T \cdot \Delta t} \\ &= \frac{2N_2 \Phi_2}{R_T} \\ &= kd \end{aligned}$$

حيث d هو عدد التقسيمات المبينة بالانحراف الناتج من انعكاس التيار .

$$k = \frac{2N_2 \Phi_2}{R_T d}$$

مثال (6-17) ملف لولبي طوله 1.2 م يحوي 800 لفة ملفوف بانتظام . وضع ملف قصير
ذو 50 لفة وبمتوسط قطر مقداره 30 ملم في مركز الملف اللولبي وربط الى كلفانوميتر قذفي ، فكانت
المقاومة الكلية لدائرة الكلفانوميتر 2000 أوم . عند انعكاس تيار مقداره 5 أمبير خلال اللفائف الابتدائية

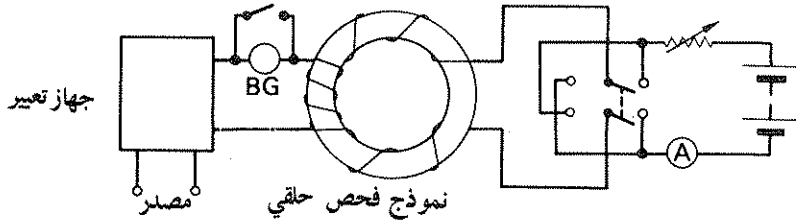
للملف اللولبي كان الانحراف الاولي للكلفانوميتر يساوي 85 تقسيماً. اوجد ثابت الكلفانوميتر القذفي

$$\begin{aligned}\Phi_2 &= \frac{\mu_0 N_1 I_1 A_2}{l_1} \\ &= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800 \times 5 \times \pi \times 15^2 \times 10^{-6}}{1.2} \\ &= 2.96 \times 10^{-6} \text{ Wb} \\ k &= \frac{2N_2\Phi_2}{R_T d} \\ &= \frac{2 \times 50 \times 2.96 \times 10^{-6}}{2000 \times 85} \\ &= 1.74 \times 10^{-9} \text{ C/div} \\ &= 1740 \text{ pC/div}\end{aligned}$$

أما الطريقة التالية للتعبير فهي مشابهة للطريقة التي وضحناها أعلاه ، الا انه في هذه الحالة يستخدم محث تبادلي قياسي والذي يكون تركيبه الفعلي مشابهاً لما هو مبين في الشكل 31-17 يعرف المحث التبادلي والذي يمكن منه معرفة المحث التانوي ومنه يمكن ايجاد الق . د . ك . كما يلي :

$$\begin{aligned}E_2 &= M \cdot \frac{2I_1}{\Delta t} \\ I_2 &= \frac{2MI_1}{R_T \Delta t} \\ Q_2 &= \frac{2MI_1}{R_T} \\ &= kd \\ k &= \frac{2MI_1}{R_T d}\end{aligned}$$

عند تعبیر الكلفانوميتر القذفي فان الدائرة التانوية يجب أن تحوي على الملف الباحث في النموذج المقاس . ولتوضیح طريقة التشغيل لناخذ طريقة ايجاد مميزات H-B لمادة مغناطيسية باستخدام الكلفانوميتر القذفي وذلك كما مبين في الدائرة المناسبة في شكل 32-17



شكل 17:32 ايجاد مميزات H/B

قبل أخذ اية قياسات يجب ازالة المغنطة من النموذج الحلقي بعكس تيار التمغنط عدة مرات بينما تزداد مع الاستمرار بزيادته تدريجياً الى قيمته العظمى ثم الرجوع الى الصفر. ولغرض حماية الكلفانوميتر القذفي فانه يربط بدائرة قصر خلال زر. وبعكسه يستلم نبضات متكررة والتي يمكن أن تؤدي الى خلل تعليقه. ان النقصان التدريجي في تيار التمغنط يقلل من كثافة التدفق العظمى المصادفة عند كل عملية انعكاس. وبذلك تنقلص الدارة التخلفية تدريجياً حتى تزال مغنطة النموذج. يمكن تعبير الكلفانوميتر القذفي دون مرور تيار تمغنط باحدى الطرق المذكورة اعلاه. وبذا تحتوي دائرة الكلفانوميتر القذفي الان على نموذج حلقي من الملف الباحث.

تزال مغنطة الحلقة مرة أخرى ثم يسقط تيار تمغنط صغير على الملف الابتدائي على النموذج الحلقي. وبتوصيل دائرة قصر عبر الكلفانوميتر القذفي فان تيار التمغنط يعكس عدة مرات ثم تزال دائرة القصر من الكلفانوميتر القذفي ويشغل زر الانعكاس مرة أخرى حيث يلاحظ الانحراف ثم يوصل الكلفانوميتر بدائرة قصر ثم يزداد التيار الابتدائي في النموذج الحلقي وتعاد العملية مرة أخرى. ان مما يجب ملاحظته ان الانعكاس الاخير للزر يحدث التشعب. ويبين ذلك بالانحراف الصغير القليل جداً للكلفانوميتر القذفي. ان مصدر التعبير خلال هذا الفحص يجب ان يكون مفتوح الدائرة.

تحسب النتائج من معرفة متوسط طول الممر المغناطيسي في النموذج الحلقي ومساحة مقطعه السطحية وعدد اللفات الابتدائية والثانوية الملفوفة عليه. ولكل من قيم تيار التمغنط يجب حساب قوة التمغنط بينما تحسب كثافة التدفق بواسطة المقدار الثابت للكلفانوميتر القذفي. ومن هذه النتيجة يمكن رسم

المميزات H-B

ان هذا الوصف المختصر يعطي فكرة عن طريقة استخدام الكلفانوميتر القذفي في القياسات الكهربائية وهي ليست الطريقة الوحيدة لاستخدام هذا الجهاز.

17:17 مقياس التدفق Fluxmeter

ان مقياس التدفق هو جهاز مهم اخر يستخدم في القياسات المغناطيسية وهو لحد ما يشابه الكلفانوميتر القذفي فيما عدا ان النظام المتحرك يمكن ان يكون مرتكراً او معلقاً بخيط من الحرير. وهنا ايضاً يزود الملف المتحرك بواسطة سلك دقيق لا يسيطر على موضعه.

ان الفرق الرئيسي يكمن في ان الحركة تؤول الى ضربات ضعيفة بواسطة التضاؤل الكهرومغناطيسي ، اي حينما يتغير الملف الباحث المشارك ، حيث ان تيارا يسري خلال ملف الجهاز مسبباً انحرافه ولكنه يتوقف عند توقف سريان التيار كما تتوقف حركة الانحراف ايضاً . لذلك من الضروري قبل اخذ اي قراءة اعادة قراءة المقياس الى الصفر .

يعتمد تشغيل الجهاز على تغير التدفق في الملف الباحث . لنفرض تغيير التدفق من Φ_1 الى Φ_2 في الملف الباحث الذي يحوي على N_2 من الملفات ، لذلك فان التغيير في وصلات التدفق تساوي $2N_2\Phi_2$ واذا كان الانحراف الذي يعود لذلك يساوي d من التقسيمات فان ثابت مقياس التدفق يساوي

$$k = \frac{2N_2\Phi_2}{d}$$

وفي هذه الحالة يقاس الثابت بالويبر - لفة لكل تقسيم . ان مقياس التدفق الاعتيادي من نوع كراسوت (Grassot) يكون متكاملأ بنفسه ولذلك لا يحتاج الى تعبير قبل استخدامه . ويمكن الحصول على التعبير الابتدائي بنفس الطرق المستخدمة في تعبير الكلفانوميتر القلدي .

مثال (7-17) ملف ذو 120 لفة ملفوف بانتظام حول حلقة ذات متوسط قطر مقداره 1 م ومساحة مقطع عرضي تساوي 500 ملم² . لف ملف باحث ذو 15 لفة على الحلقة وربط الى مقياس تدفق ذو ثابت مقداره 300 ميكروويبر - لفة لكل تقسيم . عند انعكاس تيار مقداره 6 أمبير خلال الملف ذي ال 120 لفة كان تأشير مقياس التدفق = 64 تقسيماً احسب :

أ - كثافة التدفق في الحلقة
ب - القيمة العائدة لها من الانفاذية النسبية

$$k = \frac{2N_2\Phi_2}{d}$$

$$300 \times 10^{-6} = \frac{2 \times 15 \times \Phi_2}{64}$$

$$\Phi_2 = 0.64 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$B = \frac{\Phi_2}{A_2} = \frac{0.64 \times 10^{-3}}{500 \times 10^{-6}} \\ = 1.28 \text{ T}$$

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{120 \times 6}{1} = 720 \text{ At/m}$$

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{1.28}{4\pi \times 10^{-7} \times 720} \\ = 1400$$

مسائل على القياسات

1. مجهد فحص استخدم لقياس مقاومة قضيب نحاسي فكانت النتائج كما يلي :
- معطيات التقييس (Standardisation data) تساوي 0.209 فولت/ملم
 المقاومة القياسية 0.1 اوم (مربوطة على التوالي مع القضيب)
 الطول العائد الى فرق الجهد عبر المقاوم القياسي = 250 ملم
 الطول العائد الى فرق الجهد عبر القضيب النحاسي = 400 ملم
 اوجد
 أ- فرق الجهد عبر المقاومة القياسية
 ب- فرق الجهد عبر القضيب النحاسي
 ج- مقاومة القضيب

$$0.5225 \text{ V}, 0.836 \text{ V}, 0.16 \Omega$$

2. يطلب قياس مقاومة بواسطة طريقة قنطرة ويتستون . عند التوازن كانت المقاومة AB = 100 اوم و BC = 10 اوم و AD = 85 اوم . ربط مقاوم مجهول القيمة عبر CD و سلط فرق جهد مقداره 1.5 فولت عبر AC وربط الكلفانومتر عبر BD . ارسم مخططاً للدائرة ثم احسب :
- أ- قيمة المقاوم المجهول .
 ب- فرق الجهد عبر AB وعبر AD .

$$8.5 \Omega, 1.363 \text{ V}, 1.363 \text{ V}$$

3. كلفانومتر ذو ملف متحرك مقاومته 5 اوم يعطي قراءة تأشير تام حينما يمر 15 ملي امبير خلال الجهاز . وضع بمساعدة مخططات الدائرة كيف يمكن تغيير مداه لكي يقرأ ه 5 أمبير وكذلك 150 فولت . احسب قيم المقاومات المطلوبة .

$$15.045 \Omega, 9995 \Omega$$

4. فولتمتر ذو ملف متحرك من النوع المستخدم اعتيادياً . حساسيته تساوي 500 اوم لكل لفة ويعطي انحراف تأشير تام عند 100 فولت . ما مقدار مقاومة القياس وما مقدار التيار الذي يسحبه عند انحراف تأشير تام ؟
 ربطت مقاومة مقدارها 25 كيلو اوم على التوالي مع مقاومة مقدارها 50 كيلو اوم عبر مصدر 90 فولت . وربط الفولتمتر اعلاه لقياس الفولتية عبر المقاوم 50 كيلو اوم . ما مقدار قراءة الفولتمتر؟

ما مقدار الفولتية عبر المقاوم 50 كيلو اوم قبل ربط الفولتمتر؟ ما هو سبب وجود الفرق بين الفولتيتين؟

50 k Ω , 2 mA, 45 V, 60 V

5 . ملف ذو 100 لفة لجهاز متحرك الملف طوله الفعال يساوي 30 ملم وقطره 20 ملم. وكانت كثافة التدفق في الفجوة الهوائية تساوي 200 ملي تسلا . يمكن الحصول على انحراف تأشير تام حينما يحمل الملف تياراً مقداره 5 ملي امبير . للظروف المشار إليها ، احسب عزم التدفق الكلي .

60 μ N m

6 . يسجل اميتر ذو ملف متحرك انحراف تأشير تام في درجة حرارة 20° م . وحينما يكون التيار في الملف يساوي 10 ملي امبير عند تزويد القياس بمقاوم توازي ، حدث انحراف التأشير التام في درجة حرارة 20° م بتيار كلي مقداره 1 أمبير . عند درجة حرارة 40° م وجد ان القياس مع مقاوم التوازي يقرأ 0.07 أقل بالرغم من أن التيار الكلي بقي دون تغير اي 1 أمبير . كسان مقاوم التوازي مصنوعا من الفضة الألمانية ذات معامل درجة الحرارة للمقاومة يساوي 2.5×10^{-4} لكل كلفن في درجة 20° م . احسب معامل درجة حرارة مقاومة الملف المتحرك في درجة 20° م .

$40.5 \times 10^{-4}/K$

7 . ارسم مخطط الدائرة لتبيان ربط فولتمتر واميتر وواطميتر لقياس القدرة الداخلة الى ملف ذو لب حديدي . ما المعلومات التي يمكن الحصول عليها من القراءات . اذا كانت القراءات على الجهاز هي 110 فولت و 2.5 امبير و 150 واط على التعاقب . وكانت مقاومة التيار المستمر للفائف النحاس تساوي 15 أوم . احسب محاطة الملف والخسارة في القدرة في اللب الحديدي ، علماً بان المصدر جيبى والتردد يساوي 50 هرتز .

0-118 H, 56-25 W

8 . فولتمتر متحرك الحديد ذو انحراف التأشير التام مقداره 120 فولت وكانت المحاطة تساوي 0.6 هنري والمقاومة الكلية 2.4 كيلو اوم . تم تعبيره لكي يقرأ صحيحاً في دائرة ذات تردد 60 هرتز . ما مقدار المقاومة المتواليّة اللازمة لزيادة المدى الى 600 فولت؟

2-660 k Ω

9. سعة فولتيمتر كهروستاتيكي يقرأ بين الصفر و 2000 فولت تزداد بانتظام من 45 الى 55 بيكوفراد عند حركة المؤشر من الصفر الى انحراف التأشير التام . يطلب زيادة مدى الجهاز الى 20 000 بواسطة متسعة خارجية . احسب مساحة زوج من صفائح المتسعة المناسبة لهذا الغرض على فرض ان المسافة بينهما 10 ملم .
8500 mm²

10. حلقة حديدية متوسط قطرها 250 ملم ومساحة مقطعها العرضي 1000 ملم . شطرت الى شطرين عبر قطرها ووضع كل زوج من الواجه المقطوعة بمسافة عرض فجوتها الهوائية 1 ملم . هناك اثنان من اللفائف على كل مقطع من مقاطع الحلقة : لفائف ابتدائية ذات 500 لفة ومقاومتها 10 أوم ولفائف ثانوية ذات 10 لفة ومقاومة مقدارها 1 أوم . ربط الملف الابتدائي الى مصدر للتيار المستمر ذي 24 فولت وربطت اللفائف الثانوية الى ملف قذفي ذي مقاومة مقدارها 999 أوم . ثم جلب الجزء ان سوية .
اهمل تدفق التسرب وافرض ان الانفاذية النسبية للحديد تبقى ثابتة عند قيمة 500 على المدى المستخدم . احسب الشحنة الكلية التي تسري خلال الكلفانوميتر عند الغاء الفجوات الهوائية .
53.7 μC

11. حلقة حديدية مساحة مقطعها العرضي 400 ملم² ومتوسط طولها 800 ملم . لف عليها لفائف تمغنت عددها 1000 لفة وربط ملف ثانوي من سلك مربوط الى كلفانوميتر قذفي ذي ثابت مقدارها 1 ميكروكولوم لكل تقسيم وكانت المقاومة الكلية للدائرة الثانوية تساوي 2 كيلو اوم . عند انعكاس تيار مقداره 1 أمبير في ملف التمغنت اعطى الكلفانوميتر تأشيراً مقداره 100 تقسيماً
احسب :
أ- كثافة التدفق في النموذج
ب- الانفاذية النسبية في كثافة التدفق هذه

1-25 T, 796

12. كلفانوميتر قذفي مقاومة دائرته 5 كيلو اوم وثابت الكلفانوميتر مقداره 1 ميكروكولوم لكل تقسيم . ربط بدورة الى ملف ذي 2 لفة ملفوفة على ملف مجال لماكنة تيار مستمر ووضع احد ثلاث لفات على سطح متعرض لكي يتضمن كل تدفق القطب الداخلى في المتعرض . عندما انقص تيار المجال الاعتيادي الى الصفر كانت قراءات الكلفانوميتر 136,113 تقسيماً على التعاقب .
اوجد :
أ- التدفق لكل قطب
ب- تدفق الفجوة الهوائية لكل قطب
ج- معامل التسرب

28.25 mWb, 23.7 mWb, 1-25 (SANCAD)

المصطلحات العلمية المستعملة في الكتب
الانكليزية - عربي

المصطلح بالانكليزية

المصطلح بالعربية

abbreviations (4)	مختصرات
absolute permittivity	سماحية مطلقة
absorbed (4)	تمتص
absorption rules	قواعد الامتصاص
acceptor impurity (5)	شوائب قابلة
active (4)	فعال
air core (1)	لب هوائي
alignment (4)	محاذاة
allowed tolerance	تفاوت مسموح
alternating current (a.c.) (3)	تيار متناوب
alternating quantity	كمية متناوبة
ammeter (3)	أميتر
AND gate (5)	بوابة مع
anode (8)	مصعد
angular frequency	تردد زاوي
apparent power (4)	قدرة ظاهرية
argand	مخطط اتجاهي
armature (5)	متحرض
armature reaction	رد فعل المتحرض
associative rule	قاعدة الاشتراك
attenuator (4)	موهن
automatic reversing switch	زر ذاتي عاكس
back emf (4)	ق . د . ك . معارضة
ballistic galvanometer (5)	كلفانوميتر قنفي
band (8)	شريط
bandwidth	عرض الشريط
barkhousen	باركهاوسن

المصطلح بالانكليزية	المصطلح بالعربية
barrier layer	طبقة حاجزة
base	قاعدة
bearing	حامل
Bel	البيبل
blip (9)	ومضة
block (4)	كتلة
Bocleanalgebra	الجبر البولياني
breakdown (4)	انهيار
brightness (4)	سطوع
broadband amplifier	مضخم الشريط العريض
brush	فرشة
busbar (5)	قضبان مجمعة
bypass (5)	ممر جانبي
cable (5)	قابلو
capacitance (3)	سعة
capacitor (3)	متسعة
cascade	تعاقيبي
cathode ray oscilloscope (5)	مرسمة أشعة المهبط
cell (4)	خلية
centre tap (9)	توصيلية وسطية
charging current (4)	تيار شحن
chopper (5)	مقطع
coaxial cable	قابلو محوري
classical	تقليدي
coefficient of coupling (5)	معامل الاقتران
coercive force (5)	قوة مرغمة
collector (4)	مجمع
combination logic	منطق الضم
commutator (4)	مبدل
commutator winding	لفائف تبديل
commutative rules	قواعد التبادل

المصطلح بالانكليزية

complemintation rules
 complex numbers (4)
 complex operator
 complex operation
 complexor
 conductance (5)
 conductivity (4)
 conductor (3)
 control apparatus
 constant current generator
 contact (2)
 control apparatus
 controlled clutch
 converter (4)
 conversion
 core teeth
 core type construction
 correction factor (4)
 current flow
 current sheet
 current surface density
 cycle (3)
 damping torque
 decible
 degenerative (5)
 delta connection (1)
 De Morgan's Theorem
 detector (4)
 device (6)
 diamagnetic (4)

المصطلح بالعربية

قواعد التمام
 اعداد مركبة
 عامل مركب
 عملية مركبة
 مركب
 توصيلية
 موصلية
 موصل
 جهاز سيطرة
 مولد التيار الثابت
 تلامس
 جهاز سيطرة
 سيطرة قابض
 مغير
 عملية التغير
 اسنان اللب
 تركيب ذي اللب الحديدي
 عامل تصحيح
 سريان التيار
 صفيحة التيار
 الكثافة السطحية للتيار
 دورة
 عزم مضائل
 ديسيبل
 توليد عكسي
 ربط الدلتا
 نظرية دي موركن
 مكشاف
 اداة
 الدايا مغناطيسية

المصطلح بالانكليزية

المصطلح بالعربية

dielectric (3)	العازل الكهربائي
dielectric loss	فقد العازلية
direct current (d.c.) (3)	تيار مستمر
d.c. commutation machine	مكائن المبدل للتيار المستمر
direct coupled amplifier	مضخم مباشر الاقتران
diffusion (4)	انتشار
dimension factor	عامل بعد
dipole (4)	ثنائي القطب
diode (3)	صمام ثنائي
discontinuity (4)	اللااستمرارية
discrete component	مكونات منفصلة
distribution rule	قاعدة التوزيع
divergence (5)	انفراج
domain theory (9)	نظرية التكتل
doped (5)	طعم
double subscript	توصيف سفلي مزدوج
doubly excited rotating machine	الماكينة الدوارة مزدوجة الاثارة
drum	طبل
dynamometer (1)	دايناموميتر
eccentric screw mechanism	آلية لولب لا مركزي
eddy current brake (4)	مكبح التيار الدوامي
eddy current loss (5)	فقد التيار الدوامي
electric amplifier (3)	مضخم كهربائي
electric charge (4)	شحنة كهربائية
electrode (3)	قطب كهربائي
electrodynamic instrument	جهاز كهرو ديناميكي
electromagnetism (3)	كهرو مغناطيسية
electromotive force (emf) (3)	قوة دافعة كهربائية ق . د . ك
electromechanical conversion (5)	تحويل كهرو ميكانيكي
electronic gun (4)	مدفعة الكترونية
electronic system	نظام الكتروني

electrostatic (5)	كهروستاتيك
emmission (3)	انبعاث
emmitt er (4)	باعث
emmitter follower	تابع الباعث
energy balance	توازن الطاقة
energy storage	خزن الطاقة
equipotential surface (4)	سطح متساوي الجهد
exponential (4)	اسي
extension of range	توسيع المدى
extrinsic (5)	دخيل
families	اصناف
faradays law	قانون فراداي
feedback (9)	التغذية الخلفية
feedback characteristics	مميزات التغذية الخلفية
ferrite	فيرايت
ferromagnetic core (3)	لب حديدي مغناطيسي
ferromagnetism (3)	مغناطيسية حديدية
fibre	فايبر
field effect transistor (5)	ترانزستور تأثيري المجال
figure of merit (4)	رقم الاستحقاق
filter (1)	مرشح
fluorescence (5)	الفلورية
fluctuation (4)	تراوح
flux (4)	تدفق
flux cutting rule	قاعدة التدفق المقطوع
flux density (4)	كثافة التدفق
flux leakage (4)	تسرب تدفقي
flux linkage (4)	وصلية التدفق
fluxmeter (4)	مقياس التدفق
flyback (4)	ارتداد
focus	بؤرة

المصطلح بالانكليزية	المصطلح بالعربية
force of interaction	قوة الفعل المتداخل
former	تشكيلية
forward biasing	انحياز أمامي
frequency (1)	تردد
fringing (4)	تهذب
full pitch	خطوة كاملة
full wave	كامل الموجة
gap energy	طاقة الفجوة
generalized machine approach(9)	طريقة الماكينة المعممة
graduated variable resistor	مقاوم متغير مدرج
grassot	كراسوت
halfwave rectifier (2)	مقوم نصف موجي
harmonics (4)	التوافقيات
heater	سخان
heavy duty cell	خلية تتحمل التشغيل الثقيل
heavy gage wire	سلك ذو عيار ثقيل
h-parameter	الباراميتير h-
hole (5)	فراغ
hysteresis loop (5)	دائرة التخلفية
hysteresis loss (4)	فقد التخلفية
illuminated digital display	لوحة عرض رقمية مضاءة
impedance transformation	تحويل الممانعة
imperfection (4)	عدم الكمال
impulse (1)	نبضة
indicating scale	مسطرة مدرجة
induced emf (3)	ق . د . ك . محثية
inductive load (5)	حمل حثي
inductive reactance (4)	مفاعلة حثية
inductor (4)	محث
information (4)	معلومات

المصطلح بالانكليزية

in-phase (5)
 in-quadrature (9)
 installation (5)
 insulator (3)
 integrated circuit (5)
 integrating energy meter
 interaction (9)
 intrinsic (4)
 ionize (2)
 j-notation (9)
 j-operator
 junction (9)
 Kirchhoff's laws
 lag (4)
 lagging angle
 lamination (4)
 lamp
 lead (4)
 leading angle
 leakage (1)
 leakage coefficient
 Lenz's law
 linear induction motor
 linear machine (3)
 link (4)
 load power diagram
 load resistor
 load unit
 logic gate (4)
 loop (5)
 loss (4)

المصطلح بالعربية

متحدة الطور
 متعامدة
 تأسيسات
 عازل
 دائرة متكاملة
 مقياس الطاقة المكامل
 فعل متداخل
 اصلي
 يتأين
 التوصيف -j
 العامل -j
 مقترق
 قانونا كرشوف
 يتخلف
 زاوية تخلف
 رقيقة
 مصباح
 يسبق
 زاوية سبق
 تسرب
 معامل تسرب
 قانون لenz
 محرك حثي خطي
 ماكينة خطية
 يوصل
 مخطط القدرة للحمل
 مقاوم حمل
 وحدة حمل
 بوابة منطقية
 دائرة
 فقد

المصطلح بالانكليزية	المصطلح بالعربية
magnetic circuit	دائرة مغناطيسية
magnetic circuit factors	عوامل الدائرة المغناطيسية
magnetic surface	سطح ممغظ
magneto-hydro-dynamics (MHD) (9)	مغناهدرو ديناميكي
majority carriers (9)	الحاملات الغالبة
maximum demand (4)	الطلب الاعظم
Maxwell	ماكسويل
Maxwell bridge	قطرة ماكسويل
mean (4)	متوسط
measurement	قياسات
measuring instrument	جهاز قياس
mechanical storage	مخزون ميكانيكي
mechanism	ميكانيكية
megger (4)	ميكر
mica	مايكا
minority carriers (9)	الحاملات الاقلية
modulator (4)	مضمن
motor (4)	محرك
moving coil instrument (9)	جهاز متحرك الملف
moving iron instrument (9)	جهاز متحرك الحديدية
multiplier (4)	مضاعف
multirange test instrument (4)	جهاز فحص متعدد المدى
mutual flux (3)	تدفق متبادل
mutual inductance (4)	محاثة تبادلية
NAND gate (9)	بوابة « لامع »
narrow band amplifier	مضخم الشريط الضيق
nett effect	تأثير صافي
network (4)	شبكة
neutral line (8)	خط التعادل
no load (4)	اللا حمل
no load current	تيار للاحملي

المصطلح بالانكليزية

non destructive
nomogram
NOR gate (9)
Norton's theorem
NOT equivalent (9)
NOT gate (5)
nozzle
ohm's law
operating point
optimum (4)
OR gate (5)
oscillate (4)
oscillating
oscillator (4)
oscilloscope (4)
over compensation (9)
over loading capacity
overshoot (5)
parallel (3)
parallel resonance
paramagnetic (3)
parameter (1)
passband
peak inverse voltage
peak value (4)
performance (4)
period (4)
peripheral velocity
permeability (4)
permeance (4)
permittivity (5)

المصطلح بالعربية

غير هدام
نوموغرام
بوابة « لا او »
نظرية نورتن
لا - المكافئة
بوابة « لا »
فوهة صغيرة
قانون اوم
نقطة العمل
الامتثل
بوابة « او »
يتذبذب
متذبذب
مذبذب
مرسمة التذبذبات
فوق التعويض
سعة فوق التحميل
فوق التجاوز
توازي
رنين توازي
البارامغناطيسية
بارامتر
شريط الامرار
فولتية الذروة العكسية
قيمة الذروة
اداء
فترة
سرعة الحافة
الانفاذية
منافذة
السماحية

المصطلح بالانكليزية

phase winding
 phasor
 phasor diagram (9)
 phosphorescence (4)
 piston
 pitch (3)
 plunger (3)
 pneumatic system (4)
 p-n junction
 polarity (4)
 polar admittance
 polar impedance
 polar notation
 polyphase (5)
 potential difference (3)
 potentiometer (5)
 power (3)
 power diagram
 power factor (3)
 power transmission
 pulsating torque
 pulsational emf
 Q-factor (4)
 quiescent (4)
 reactive (4)
 reactive power
 reactor (4)
 recombination (9)
 rectifier (3)
 rectifier circuit
 rectifier meter

المصطلح بالعربية

لفائف الطور
 طوري
 مخطط طوري
 فوسفورية
 مكبس
 خطوة
 غاطس
 نظام انواء المضغوط
 مفترق م-س
 قطبية
 مسايرة قطبية
 ممانعة قطبية
 رمز قطبي
 متعدد الاطوار
 فرق الجهد
 مجهاد
 قدرة
 مخطط القدرة
 عامل القدرة
 نقل القدرة
 عزم نبضي
 ق.د.ك. النبضية
 عامل الجودة
 ساكن
 متفاعلة
 قدرة متفاعلة
 مفاعل
 اعادة التحام
 مقوم
 دائرة مقوم
 مقياس المقوم

المصطلح بالانكليزية

reference cell
 regenerative (4)
 rejector circuit (9)
 relay (4)
 reluctance (5)
 reluctance motor
 remanence (4)
 reorientation (9)
 resistivity (4)
 resonance (3)
 resonance frequency
 response (4)
 restraining torque
 reverse biased
 reverse breakdown
 rheostat (3)
 right hand rule
 root mean square (RMS) (9)
 rotating machine
 rotating motion
 rotor (1)
 runner (9)
 salient (4)
 saturate (1)
 screen (5)
 search coil (5)
 selection (5)
 self inductance (4)
 semiconductors (8)
 series (3)
 series aiding (9)

المصطلح بالعربية

خلية قياسية
 اعادة توليد
 دائرة رفض
 مرحل
 معاوقة
 محرك معاوقي
 استباقية
 اعادة توجيه
 مقاومة
 رنين
 تردد الرنين
 استجابة
 عزم مشيط
 منحاز عكسي
 انهيار عكسي
 مقاومة متغيرة
 قاعدة اليد اليمنى
 جذر متوسط التربيع (ج.م.ت.)
 ماكينة دوارة
 حركة دورانية
 دوار
 متحرك
 ناتسيء
 يتشبع
 شاشة
 ملف باحث
 انتقاء. اختيار
 محاثة ذاتية
 انصاف الموصلات
 توالي
 توالي تعاضدي

المصطلح بالانكليزية

المصطلح بالعربية

series opposing (9)	توالي تعاكسي
servomechanism (4)	الآلية الموازنة
shaft	عمود دوار
shell (4)	قشرة
shell type construction	تركيب ذي درع
short circuit (4)	دائرة قصر
shunt capacitor	متسعة توازي
shunt motor	محرك توازي
shunt generator	مولد توازي
signal (4)	اشارة
single phase	طور واحد
sinusoidal wave	موجة جيبية
smoothing (4)	تسوية
solenoid (4)	ملف لولبي
solinooidal relay	مرحل الملف اللولبي
source	مصدر
space factor	عامل الفضاء
squirral cage induction motor (9)	محرك حثي ذو قفص السنجاب
stacking factor	عامل الرص
star connection	ربط نجمي
static capacitor	متسعة ساكنة
static torque	عزم ستاتيكي
steady state	وضع الاستقرار
Steinmetz index	معامل ستاينمتس
strain (4)	انفعال
strain gauge	مقياس انفعال
stress (3)	اجهاد
stroke time	زمن الضربة
subscription	توصيف
superposition theorem (4)	نظرية التراكيب
swept (5)	مكتسحة

المصطلح بالانكليزية	المصطلح بالعربية
switch (9)	زر . مفتاح
switch on	فتح
symbol (4)	رمز
symmetrical	متماثل
synchronous (4)	تزامني
synchronous motor (5)	محرك تزامني
system (4)	نظام . منظومة
system International d' Unites (SI Units)	نظام الوحدات العالمي (نظام SI)
temperature coefficient	معامل درجة الحرارة
thermocouple ammeter (4)	أميتر المزدوجة الحرارية
Thevenin's Theorem	نظرية ثفنن
thermoionic valve	صمام ثرموأيوني
thyristor	ثايرستر
time base generator	مولد قاعدة زمنية
time constant	ثابت الزمن
toroid (4)	ملف حلقي
torque (3)	عزم
T-parameter	تي باراميتير
trace (4)	استشفاف
traction motor	محرك نقل
transducer (4)	محول طاقة
transfer instrument	جهاز تحويل
transformer (4)	محول
transistor circuit	دائرة ترانزستور
transmission system	نظام النقل
transverter	ترانسفيرتر
turbogenerator	مولد تربييني
truth table	جدول الواقع
unified approach	طريقة موحدة

المصطلح بالانكليزية	المصطلح بالعربية
unified machine theory	النظرية الموحدة للمكانن
unit reference step	وحدة خطوة مرجعية
universal bridge	قنطرة عامة
unstable (4)	غير مستقر
vector (3)	متجه
vibration (3)	اهتزاز
visible spectrum	طيف منظور
voltage regulation	تنظيم الفولتية
voltage divider (4)	مقسم الفولتية
volt drop (4)	هبوط الفولت
volt ratio box	صندوق نسبة الفولت
voltmeter (3)	فولتميتر
waveform graph	متحني شكل الموجة
Wheatston bridge (3)	قنطرة ويتستون
weber	ويبر
yoke (4)	مقرن

مصادر المصطلحات

- (1) مصطلحات المجمع العلمي العراقي - بغداد
- (2) مصطلحات مجمع اللغة العربية - القاهرة
- (3) وزارة التربية العراقية
- (4) معجم المصطلحات الفنية - القوات المسلحة المصرية
- (5) قاموس مصطلحات الهندسة الكهربائية - د. محمد زكي محمد خضر
ود. سامي محمد طاهر عبد الموجود
- (6) المورد - منير البعلبكي
- (7) الاتحاد العلمي العربي - القاهرة
- (8) مكتب التعريب الدائم - المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم بالمغرب
- (9) المترجمان

المصطلحات العلمية المستخدمة في الكتاب
عريب - انكليزي

المصطلح بالانكليزية	المصطلح بالعربية
stress	اجهاد
performance	اداء
device	اداة
flyback	ارتداد
remanence	استبقائية
response	استجابة
trace	استشفاف
core teeth	اسنان اللب
exponential	اسي
signal	اشارة
families	اصناف
intrinsic	اصيل
reorientation	اعادة توجيه
recombination	اعادة التحام
regenerative	اعادة توليد
complex numbers	اعداد مركبة
servomechanism	الآلية المؤازرة
optimum	الامتثل
permeability	الانفاذية
paramagnetic	البارامغناطيسية
h-parameter	البارامتر h-
Bel	البيبل
harmonics	التوافقيات
j-notation	التوصيف j
feedback	التغذية الخلفية
Boolean algebra	الجبر البوليني
minority carriers	الحاملات الاقلية
majority carriers	الحاملات الغالبة

المصطلح بالانكليزية	المصطلح بالعربية
diamagnetic	الدايامغناطيسية
permittivity	السماحية
maximum demand	الطلب الاعظم
dielectric	العازل الكهربائي
j-operator	العامل -j
flourescence	الفلورية
current surface density	الكثافة السطحية للتيار
no load	اللاحمل
discontinuity	اللااستمرارية
doubly excited rotating machine	المماكنة الدوارة مزدوجة الاثارة
unified machine theory	النظرية الموحدة للمماكن
eccentric screw mechanism	آلية لولب لا مركزي
thermocouple ammeter	اميترا لمزدوجة الحرارةية
ammeter	اميترا
emmission	انبعاث
diffusion	انتشار
selection	انتقاء . اختيار
forward biasing	انحياز امامي
semiconductors	انصاف الموصلات
divergence	انفراج
strain	انفعال
breakdown	انهيار
reverse breakdown	انهيار عكسي
vibration	اهتزاز
parameter	باراميترا
barkhousen	باركهاوسن
emmitter	باعث
OR gate	بوابة « او »
AND gate	بوابة « مع »
logic gate	بوابة منطقية
NOT gate	بوابة « لا »

المصطلح بالانكليزية

المصطلح بالعربية

NOR gate	بوابة « لا أو »
NAND gate	بوابة « لا مع »
focus	بؤرة
emmitter follower	تابع الباعث
nett effect	تأثير صافي
installation	تأسيسات
impedance transformation	تحويل الممانعة
electromechanical conversion	تحويل كهروميكانيكي
flux	تدفق
mutual flux	تدفق متبادل
transverter	ترانسفرتر
field effect transistor	ترانزستور تأثيري المجال
fluctuation	تراوح
frequency	تردد
resonance frequency	تردد الرنين
angular type	تردد زاوي
shell type construction	تركيب ذي درع
core type construction	تركيب ذي اللب الحديدي
synchronous	تزامني
leakage	تسرب
flux leakage	تسرب تدفقي
smoothing	تسوية
former	تشكيلية
cascade	تعاقي
allowed tolerance	تفاوت مسموح
classical	تقليدي

المصطلح بالانكليزية

المصطلح بالعربية

contact	تلامس
voltage regulation	تنظيم الفولتية
series	توالي
series aiding	توالي تعاضدي
series opposing	توالي تعاكسي
energy balance	توازن الطاقة
parallel	توازي
extension of range	توسيع المدى
subscription	توصيف
double subscript	توصيف سفلي مزدوج
conductance	توصيلية
centre tap	توصيلية وسطية
degenerative	توليد عكسي
fringing	تهذب
T-parameter	تقني باراميتير
charging current	تيار شحن
no load current	تيار لا حملي
direct current (d . c .)	تيار مستمر
alternating current (a . c .)	تيار متناوب
time constant	ثابت الزمن
thyristor	ثايرست
dipole	ثنائي القطب
truth table	جدول الواقع
root mean square (RMS)	جذر متوسط التربيع (ج . د . ت .)
transfer instrument	جهاز تحويل
control apparatus	جهاز سيطرة
multirange test instrument	جهاز فحص متعدد المدى
measuring instrument	جهاز قياس
electrodynamic instrument	جهاز كهروديناميكي
moving iron instrument	جهاز متحرك الحديدية
moving coil instrument	جهاز متحرك الملف
bearing	حامل

المصطلح بالانكليزية

rotating motion
 inductive load
 energy storage
 neutral line
 pitch
 cell
 heavy duty cell
 reference cell
 full pitch
 hysteresis loop
 loop
 transistor circuit
 rejector circuit
 magnetic circuit
 short circuit
 integrated circuit
 rectifier circuit
 extrinsic
 dynamometer
 rotor
 cycle
 decibel
 delta connection
 star connection
 armature reaction
 figure of merit
 lamination symbol
 polar notation
 resonance
 parallel resonance
 lagging angle
 leading angle

المصطلح بالعربية

حركة دورانية
 حمل حثي
 خزن الطاقة
 خط التعادل
 خطوة
 خلية
 خلية تتحمل التشغيل الثقيل
 خلية قياسية
 خطوة كاملة
 دائرة التخلفية
 دائرة
 دائرة ترازو ستور
 دائرة رفض
 دائرة مغناطيسية
 دائرة قصر
 دائرة متكاملة
 دائرة مقوم
 دخيل
 دايناموميتر
 دوار
 دورة
 ديسيبل
 ربط الدلتا
 ربط نجمي
 رد فعل المتحرض
 رقم الاستحقاق
 رقيقة
 رمز قطبي
 رنين
 رنين توازي
 زاوية تخلف
 زاوية سبق

المصطلح بالانكليزية

المصطلح بالعربية

automatic reversing switch

زر ذاتي عاكس

switch

زر . مفتاح

stroke time

زمن الضربة

quiescent

ساكن

heater

سخان

current flow

سريان التيار

peripheral velocity

سرعة الحافة

equipotential surface

سطح متساوي الجهد

magnetic surface

سطح ممغنط

brightness

سطوع

capacitance

سعة

over loading capacity

سعة فوق التحميل

heavy gauge wire

سلك ذو عيار ثقيل

absolute permittivity

سماحية مطلقة

controlled clutch

سيطرة قابض

screen

شاشة

network

شبكة

electric charge

شحنة كهربائية

band

شریط

passband

شریط الامار

acceptor impurity

شوائب قابلة

current sheet

صفيحة التيار

thermoionic valve

صمام ثرموأيوني

diode

صمام ثنائي

volt ratio box

صندوق نسبة الفولت

gap energy

طاقة الفجوة

barrier layer

طبقة حاجزة

drum

طبل

generalized machine approach

طريقة الماكينة المعممة

unified approach

طريقة موحدة

doped

طعم

المصطلح بالانكليزية

المصطلح بالعربية

single phase	طور واحد
phasor	طوري
visible spectrum	طيف منظور
insulator	عازل
Q-factor	عامل الجودة
stacking factor	عامل الرص
power factor	عامل القدرة
space factor	عامل الفضاء
dimension factor	عامل بعد
correction factor	عامل تصحيح
complex operator	عامل مركب
imperfection	عدم الكمال
bandwidth	عرض الشريط
torque	عزم
static torque	عزم ستاتيكي
restraining torque	عزم مثبط
damping torque	عزم مضائل
pulsating torque	عزم نبضي
conversion	عملية التغير
complex operation	عملية مركبة
shaft	عمود دوار
magnetic circuit factors	عوامل الدائرة المغناطيسية
plunger	غاطس
unstable	غير مستقر
nondestructive	غير هدام
fibre	فايبر
switch on	فتح
period	فترة
hole	فراغ
brush	فرشة
potential difference	فرق الجهد

المصطلح بالانكليزية

active
interaction
loss
eddy current loss
hysteresis loss
dielectric loss
phosphorescence
nozzle
overshoot
over compensation
voltmeter
peak inverse voltage
ferrite
cable
coaxial cable
power
apparent power
flux cutting rule
base
distribution rule
right hand rule
associative rule
pulsational emf
reactive power
induced emf
back emf
ohm's law
Kirchhoff's laws
Faraday's law
Lenz's law
shell
busbar

المصطلح بالعربية

فعال
فعل متداخل
فقد
فقد التيار الدوامي
فقد التخلفية
فقد العازلية
فوسفورية
فوهة صغيرة
فوق التجاوز
فوق التعويض
فولتميتر
فولتية الدروة العكسية
فيريت
قابلو
قابلو محوري
قدرة
قدرة ظاهرية
قاعدة التدفق المقطوع
قاعدة
قاعدة التوزيع
قاعدة اليد اليمنى
قاعدة الاشتراك
ق. د. ك. النبضية
قدرة متفاعلة
ق. د. ك. محثنة
ق. د. ك. معارضة
قانون اوم
قانون كرشوف
قانون فراداي
قانون لنز
قشرة
قضبان مجمعة

المصطلح بالانكليزية

المصطلح بالعربية

absorption rules	قواعد الامتصاص
commutative rules	قواعد التبادل
complementation rules	قواعد التمام
electrode	قطب كهربائي
polarity	قطبية
universal bridge	قنطرة عامة
Maxwell bridge	قنطرة ماكسويل
Wheatston bridge	قنطرة ويتستون
force of interaction	قوة الفعل المتداخل
electromotive force	قوة دافعة كهربائية (ق. د. ك.)
coercive force	قوة مرغمة
measurement	قياسات
peak value	قيمة الذروة
full wave	كامل الموجة
block	كتلة
flux density	كثافة التدفق
grassot	كراسوت
ballistic galvanometer	كالفانو ميتر قنفي
alternating quantity	كمية متناوبة
electrostatic	كهروستاتيك
electromagnetism	كهر ومغناطيسية
NOT-equivalent	لا- المكافئة
ferromagnetic core	لب حديدي مغناطيسي
air core	لب هوائي
phase winding	لفائف الطور
commutator winding	لفائف تبديل
illuminated digital display	لوحة عرض رقمية مضاءة
Maxwell	ماكسويل
rotating machine	ماكينة دوارة
linear machine	ماكينة خطية
mica	مايكا

المصطلح بالانكليزية	المصطلح بالعربية
commutator	مبدل
in-phase	متحدة الطور
capacitor	متسعة
polyphase	متعددة الاطوار
in-quadrature	متعامدة
vector	متجه
runner	متحرك
armature	متحرض
oscillating	متذبذب
shunt capacitor	متسعة توازي
static capacitor	متسعة ساكنة
reactive	متفاعلة
symmetrical	متماثل
mean	متوسط
potentiometer	مجهاد
collector	مجمع
mutual inductance	محاثة ذاتية
self inductance	محاثة تبادلية
alignment	محاذاة
inductor	محث
motor	محرك
synchronous motor	محرك تزامني
linear induction motor	محرك حثي خطي
reluctance motor	محرك معاوغي
squirrel cage induction motor	محرك حثي ذو قفص السنجاب
shunt motor	محرك توازي
traction motor	محرك نقل
transformer	محول
transducer	محول طاقة
abbreviations	مختصرات
mechanical storage	مخزون ميكانيكي

المصطلح بالانكليزية	المصطلح بالعربية
argand	مخطط اتجاهي
Power diagram	مخطط القدرة
load power diagram	مخطط القدرة للحمل
phasor diagram	مخطط طوري
electronic gun	مدفعة الكترونية
oscillator	مذبذبة
oscilloscope	مرسمة الذبذبات
cathode ray oscilloscope	مرسمة اشعة المهبط
filter	مرشح
relay	مرحل
solenoidal reiaj	مرحل الملف اللولبي
complexor	مركب
indicating scale	مسطرة مدرجة
polar admittance	مسايرة قطبية
anode	مصعد
source	مصدر
lamp	مصباح
electric amplifier	مضخم كهربائي
modulator	مضمن
narrow band amplifier	مضخم الشريط الضيق
broadband amplifier	مضخم الشريط العريض
multiplier	مضاعف
direct coupled amplifier	مضخم مباشر الاقتران
steinmetz index	معامل ستايمتس
coefficient of coupling	معامل الاقتران
leakage coefficient	معامل تسرب
temperature coefficient	معامل درجة الحرارة
reluctance	معاوقة
information	معلومات
magneto-hydro-dynamics (MHD)	مغنا هيدرو ديناميكي

المصطلح بالانكليزية

المصطلح بالعربية

ferromagnetism	مغناطيسية حديدية
converter	مغير
reactor	مفاعل
inductive reactance	مفاعلة حثية
junction	مفترق
p-n junction	مفترق م-س
graduated variable resistor	مقاوم متغير مدرج
load resistor	مقاوم حمل
rheostat	مقاومة متغيرة
resistivity	مقاومية
yoke	مقرن
voltage divider	مقسم الفولتية
chopper	مقطع
fluxmeter	مقياس التدفق
halfwave rectifier	مقوم نصف موجي
rectifier	مقوم
strain guage	مقياس انفعال
integrating energy meter	مقياس الطاقة الكاملة
rectifier meter	مقياس المقوم
d . c . commutation machine	مكائن المبدل للتيار المستمر
eddy current brake	مكبح التيار الدوامي
piston	مكبس
swept	مكتسحة
detector	مكتشاف
discrete component	مكونات منفصلة
toroid	ملف حلقي
search coil	ملف باحث
solenoid	ملف لولبي
polar impedance	مانعة قطبية
absorbed	ممتص
bypass	مرجانبي

المصطلح بالانكليزية

المصطلح بالعربية

feedback characteristics
 permeance
 reverse biased
 waveform graph
 combination logic
 sinusoidal wave
 conductor
 conductivity
 turbogenerator
 shunt generator
 time base generator
 constant current generator
 attenuator
 mechanism
 meger
 salient
 impulse
 system International d' Unites
 (SI Units)
 electronic system
 transmission system
 System
 pneumatic system
 Thevenin's Theorem
 De Morgan's Theorem
 Superposition Theorem
 domain theory
 Norton's theorem
 operating point
 Power transmission
 nomogram

مميزات التغذية الخلفية
 منافذة
 متحاز عكسيا
 منحني شكل الموجة
 منطق الضم
 موجة جيبية
 موصل
 موصلية
 مولد توربينسي
 مولد توازي
 مولد قاعدة زمنية
 مولد التيار الثابت
 موهن
 ميكانيكية
 ميكر
 ناتمي
 نبضة
 نظام الوحدات العالمي
 (نظام SI)
 نظام الكتروني
 نظام النقل
 نظام منظومة
 نظام الهواء المضغوط
 نظرية ثفنن
 نظرية دي موركن
 نظرية التراكب
 نظرية الكنتكتل
 نظرية نورتن
 نقطة العمل
 نقل القنذرة
 نوموگرام

المصطلح بالانكليزية

المصطلح بالعربية

load unit

وحدة حمل

unit reference step

وحدة خطوة مرجعية

flux linkage

وصلية التدفق

steady state

وضع الاستقرار

blip

ومضة

weber

ويبر

volt drop

هبوط الفولت

ionize

يتأين

lag

يتخلف

oscillate

يتذبذب

saturate

يتشبع

lead

يسبق

link

يوصل

رقم الأيداع في المكتبة الوطنية ببغداد (٦٦٥) لسنة ١٩٧٧